Archive of SID

چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۲۴ ـ زمستان ۱۳۹۵
ص‌ص ۹۵ – ۵۹

مدل برنامه‌ریزی دوسطحی برای طراحی شبکه مدیریت پسماندهای شهری تحت شرایط برگزاری مزایده

نسترن صادقیان شریف*، میرسامان پیشوایی**

چکیده

در این پژوهش طراحی شبکه برای مدیریت پسماندهای شهری از دید یک سازمان که زباله‌های مختلف را جمع‌آوری کرده (مانند شهرداری) و در ازای دریافت زباله به مناطق تولید زباله پول پرداخت می‌کند، مطالعه شده است. تعیین مبلغ پرداختی برای دریافت زباله و همچنین تصمیم در مورد برون‌سپاری پس از دریافت زباله‌های تفکیک‌شده، موضوع‌هایی هستند که باید در مورد آن تصمیم‌گیری شود. در صورت برون‌سپاری، مزایده برگزار می‌شود و شرکت‌های بازیافتی و کمپوستی با ارائه قیمت در این مزایده شرکت می‌کنند. شرکت مناسب در صورت وجود انتخاب می‌شود و درصورتی‌که برون‌سپاری صرفه اقتصادی نداشته باشد، زباله‌ها توسط خود سازمان جمع‌آوری‌کننده پردازش می‌شوند و تصمیم‌های مربوطه برای تأسیس تسهیلات و مکان‌یابی و تخصیص آن‌ها به نقاط تولید زباله اخذ می‌شود. مسئله در قالب یک مدل دوسطحی مدل‌سازی شد که در سطح اول سازمان جمع‌آوری‌کننده به‌عنوان رهبر و در سطح دوم شرکت‌های داوطلب برای شرکت در مزایده در نقش پیرو با هم رقابت می‌کنند و تصمیم‌گیرنده هستند.

کلیدواژه‌ها: طراحی شبکه جمع‌آوری زباله و پسماند شهری؛ مدیریت پسماندهای شهری، برنامه‌ریزی دوسطحی، مزایده، قیمت‌گذاری.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۷/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.
** استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران (نویسنده مسئول).
E-mail: pishvaee@iust.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

امروزه مدیریت پسماندهای جامد شهری در میان کشورهای آسیایی در حال بهبود است [۱۹]. شبکه مدیریت پسماند از لحظه‌ی جمع‌آوری زباله تا مرحله برخورد نهایی و دفع زباله را شامل می‌شود [۲۲]. از مهم‌ترین شاخص‌های زندگی بشر حفاظت از منابع تولید است و بشر دریافته است که تبعات و پیامدهای خسارت‌باری که پسماند به طبیعت وارد می‌کند بسیار زیاد است. مدیریت پسماند شهری مفاهیمی چون بازیافت، استفاده‌ی مجدد، پایداری و دوستی با محیط‌زیست را شامل می‌شود [۶]. مدیریت پسماند شهری نه‌تنها یک چالش اصلی برای جامعه محسوب می‌شود؛ بلکه زمینه‌ساز رشد بسیاری از مشاغل بالقوه است [۲۲]. امروزه با گسترش شهرنشینی مدیریت درست پسماندهای شهری به یک مسئله بزرگ برای شهرها تبدیل شده است. مدیریت پسماندهای شهری شامل تمامی مراحل انتقال و جمع‌آوری از محل تولید زباله تا بازیافت، دفع و یا هر برخورد دیگری با آن است [۱۷]. یک زنجیره جمع‌آوری زباله از اجزای مختلفی چون ایستگاه‌های جمع‌آوری زباله، ایستگاه‌های انتقال و تسهیلات دفع تشکیل شده است. هدف اصلی مدیریت پسماند جمع‌آوری و دفع صحیح زباله به‌گونه‌ای است که علاوه بر کمینه‌کردن هزینه سیستم، آلودگی‌های وارده بر محیط‌زیست نیز کمینه شود [۴۰]. به‌صورت کلی در برخورد با مواد برگشتی در طی یک زنجیره تأمین معکوس چهار راهکار عمومی وجود دارد: ۱. کاهش تولید زباله[1]؛ ۲. استفاده مجدد از اقلام موردنیاز[2]؛ ۳. جمع‌آوری و سپس جداسازی زباله‌ها و بازیافت زباله‌های قابل بازیافت[3]؛ ۴. تولید انرژی[4] (گرما، الکتریسیته). چون عملکرد نهایی سیستم جمع‌آوری پسماند از انتخاب روش‌های مناسب برخورد متأثر است، تعیین اینکه برای هر زباله از چه روشی باید استفاده کرد، بسیار مهم است. هرچند مدل‌های بسیار موفقی در زمینه برخورد با زباله ارائه شده است، بیشتر آن‌ها انواع روش‌های برخورد را به‌صورت ترکیبی در نظر نگرفته‌اند [۲۵، ۱۲، ۲۴، ۳۰]؛ درحالی‌است که در فضای رقابتی امروز استفاده حداکثری از انرژی ذخیره‌شده در هر یک از محصولات برگشتی بسیار تأثیرگذار است؛ همچنین برای کمینه‌سازی اثرات منفی وارده بر محیط‌زیست باید هر زباله به روش بهینه مختص خود مدیریت شود.

بحث تفکیک زباله‌ها مبحث مهمی در مدیریت پسماند محسوب می‌شود؛ زیرا بخش زیادی از انرژی و هزینه صرف‌شده را به خود اختصاص می‌دهد؛ بنابراین اگر بتوان این بخش را حذف و از زباله‌های تفکیک‌شده استفاده کرد، عملکرد سیستم بهبود خواهد یافت؛ ازاین‌رو امروزه بحث تفکیک زباله از مبدأ رواج یافته است. یکی از روش‌های ایجاد انگیزه در مردم برای جداسازی زباله‌ها در مبدأ قیمت‌گذاری مناسب برای دریافت زباله‌های تفکیک‌شده است. قیمت‌گذاری جزء

1. Reduce
2. Reuse
3. Recycle
4. Recover

www.SID.ir

Archive of SID

مهم مدل کسب‌وکار است و تصمیم در مورد آن تأثیرات زیادی بر سودآوری نهایی دارد. قیمت‌گذاری یکی از ابزارهای مهم در برنامه‌ریزی بلندمدت تخصیص کارای منابع است و سیاست‌های قیمت‌گذاری باید تمام ابعاد تأثیرگذار را در نظر بگیرد تا از ایجاد شوک‌های ناگهانی جلوگیری شود [۲۷]؛ بنابراین قیمت باید با توجه به کیفیت زباله و اینکه چقدر ارزش بازیافت و بازیابی دارد، مشخص شود.

در بازار رقابتی امروز بسیاری از شرکت‌ها با روی‌آوردن به برون‌سپاری فعالیت‌های مختلف به دنبال سودآوری بیشتر هستند. سود حاصل از برون‌سپاری تا حد بسیار زیادی به انتخاب یک شریک مناسب وابسته است. یکی از روش‌های برون‌سپاری فعالیت‌ها، برگزاری مزایده است. در برگزاری مزایده شرکت‌های شرکت‌کننده رقیب محسوب می‌شوند و برای ارائه قیمت به رقابت می‌پردازند. این رقابت بسته به نوع مزایده می‌تواند متفاوت باشد. عواملی چون تعداد دفعاتی که شرکت‌کنندگان می‌توانند قیمت پیشنهادی را تغییر دهند، خبرداشتن و نداشتن رقبا از تصمیم یکدیگر، عواملی که در تصمیم‌گیری شرکت‌کنندگان تأثیرگذار است، می‌تواند انواع مختلف مزایده را شکل دهد. با توجه به شدت رقابت که در نتیجه تعداد رقبای حاضر صورت می‌گیرد، سازمان‌ها روش‌های قیمت‌گذاری مختلفی به‌کار می‌گیرند [۲۳]. استفاده از نظریه بازی‌ها راه‌کاری مؤثر برای حل این مسائل، به‌دلیل رقابت میان شرکت‌کنندگان، است. در حوزه مدیریت زباله‌های شهری در شهر تهران، شهرداری به برگزاری مناقصات و مزایدات مختلف می‌پردازد. فعالیت‌های چون جمع‌آوری زباله‌ها، تفکیک زباله‌ها و پردازش آن‌ها به‌طور مجزا از طریق برگزاری مناقصات و مزایدات به شرکت‌های پیمان‌کاری برون‌سپاری می‌شود. در این مقاله موضوع برون‌سپاری پردازش زباله‌ها از طریق برگزاری مزایده بررسی شده است؛ به عبارتی زباله‌های خام هر منطقه از طریق برگزاری مزایده به فروش می‌رسد. ابتدا ارزش تقریبی زباله‌های مناطق توسط کارشناسان شهرداری تخمین زده می‌شود و بعد از تعیین یک قیمت پایه و حداقلی شرکت‌ها به رقابت با یکدیگر می‌پردازند و با پیش‌بینی قیمت رقبا قیمت خود را ارائه می‌دهند. درنهایت قیمت بالاتر برنده مزایده خواهد بود.

هدف اصلی این مقاله ارائه یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی چند محصولی به‌منظور بهینه‌سازی سود شهرداری و نیز بیشینه‌کردن سود شرکت‌کنندگان در مزایده برای دریافت زباله است. این مدل دوسطحی شامل سطح اول که تصمیم‌های مربوط به شهرداری و سطح دوم که مربوط به تصمیم‌های شرکت‌کنندگان در مزایده است است. در پژوهش حاضر در سطح اول شهرداری به‌عنوان رهبر به تصمیم‌های مربوط به طراحی شبکه، قیمت‌گذاری، اخذ تصمیم‌های مربوط به برون‌سپاری و عدم‌برون‌سپاری، برگزاری مزایده و انتخاب شرکت موردنظر می‌پردازد. در این بخش قیمت خرید زباله از مناطق تولید زباله متغیر تصمیم است و با توجه به حجم و

www.SID.ir

Archive of SID

کیفیت زباله دریافتی از مناطق تولید زباله، توسط مدل تعیین می‌شود. در سطح دوم شرکت‌کنندگان در مزایده به‌عنوان پیرو تصمیم‌های مربوط به تعیین قیمت پیشنهادی برای شرکت در مزایده را اخذ می‌کنند.

ادامه پژوهش حاضر بدین ترتیب سازمان‌یافته است. در بخش ۲ مقاله، مروری بر مبانی نظری موضوع صورت می‌گیرد. در بخش ۳ به تعریف مسئله و بیان مفروضات، ارائه یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی برای طراحی شبکه مدیریت پسماندهای شهری تحت شرایط برگزاری مزایده و همچنین تشریح روش حل استفاده‌شده در پژوهش، پرداخته می‌شود. در بخش ۴ نتایج مدل، تحلیل و بررسی می‌شود؛ درنهایت بخش ۵ به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها اختصاص می‌یابد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

نخستین بار مکان‌یابی در حوزه زباله‌های خطرناک در مورد مکان‌یابی مراکز دفن و مراکز برخورد مطرح شد. مکان‌یابی این مراکز در مبانی نظری عموماً باعنوان «مکان‌یابی تسهیلات نامطلوب» مطرح شده است.

در زمینه مکان‌یابی تسهیلات نامطلوب ارکوت و نومان (۲۰۰۳)، پژوهش‌های بسیاری انجام داده و مقاله‌های بسیاری در این زمینه منتشر کرده‌اند [۱۱].

در بحث عدم‌قطعیت، ژنگ و همکاران (۲۰۱۱)، یک مدل چندسطحی برای مدیریت زباله‌های شهری در شرایط عدم‌قطعیت ارائه دادند [۴۰]. طبق جدول ۱ ، پژوهشگران دیگری چون وحدانی و نادری بنی (۲۰۱۴) ، برگلند و وان (۲۰۱۴) و سجادی و همکاران (۲۰۱۰)، در این زمینه کار کرده‌اند [۳۱، ۵، ۲۴]. مسئله‌ای چندمعیاره توسط تاوارس و همکاران (۲۰۱۱)، مطرح شد. در این مسئله مکان‌یابی کوره‌ها و مراکز سوزاندن زباله‌های شهری موردبررسی قرار گرفت و به‌طور هم‌زمان اهدافی چون کمینه‌کردن هزینه‌های اقتصادی، آسیب‌های زیست‌محیطی، آسیب‌های سلامتی و هزینه‌های اجتماعی دنبال شد [۲۹]. تعدادی از این اهداف در مدل آچیلاس و همکاران (۲۰۱۱) موردبررسی قرار گرفت؛ زیرا زباله‌های درنظرگرفته‌شده در این مسئله ترکیبی از زباله‌های الکترونیکی سمی و غیرسمی بود [۱]. اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در مقاله‌های پژوهشگرانی چون ازکویل و همکاران (۲۰۱۳)، قابل‌مشاهده است [۱۲]. با توجه به جدول ۱، نوع روش برخورد در میان مقاله‌ها متفاوت است. چندین روش متفاوت ازجمله دفن، سوزاندن، کمپوست معمولی، کمپوست مکانیکی، کمپوست ورمی، عملیات شیمیایی، مایکرویو، اتوکلاو، بازیافت و چندین نوع روش دیگر در یک مدل چندسطحی برای مدیریت زباله‌های شهری توسط گوپتا و شارما (۲۰۱۱)، ارائه شد [۱۸]. پژوهش دیگری که روش‌های

www.SID.ir

Archive of SID

متعددی برای برخورد در نظر گرفت پژوهش انجی و همکاران (۲۰۱۴)، است که استفاده مجدد، تبدیل حرارتی، تبدیل بیوشیمی، تولیدکننده گاز و هضم بی‌هوازی را نیز در نظر گرفتند [۲۱]. یه و همکاران (۲۰۱۱)، مدلی برای مکان‌یابی مراکز بازیافت و تخصیص انبارها به آن‌ها مطرح کردند؛ مسئله‌ای دوهدفه که در نخستین گام تلاش شد تا تعداد مراکز بازیافت کاهش یابد و در گام دوم هدف کاهش حمل‌ونقل از طریق تخصیص کارآمد انبارها به مراکز بازیافت است [۳۸].

در بخش مدیریت زباله ازآنجاکه فاکتورهای دیگری جز هزینه موردتوجه هستند؛ بنابراین مسائل چندهدفه بسیاری تحلیل و بررسی شد. ازجمله سامانلیوگلو (۲۰۱۳)، یک مسئله مکان‌یابی مسیریابی برای زباله‌های خطرناک و صنعتی ارائه کرد که تابع چندهدفه‌ای در آن لحاظ شده است. این پژوهشگر کمینه‌کردن هزینه‌های کل، کمینه‌کردن ریسک حمل‌ونقل و کمینه‌کردن ریسک تأسیس مراکز برخورد، دفع و جمع‌آوری که به‌اختصار به آن «ریسک سایت» گفته می‌شود را هدف قرار داد [۲۵]. ایسلت (۲۰۱۳)، جمعیت را عاملی مهمی برای مکان‌یابی زمین‌های دفن لحاظ کرد [۱۰]. کمینه‌کردن تغییرات اقلیمی، کمینه‌کردن اثرات مخرب انسانی، کمینه‌کردن استفاده از انرژی‌های فسیلی، کمینه‌کردن اثرات مخرب اکوسیستم، کمینه‌کردن استفاده از منابع معدنی، کمینه‌کردن انتشار آلودگی ازجمله اهداف دیگری است که در پژوهش وادنبو (۲۰۱۴)، مطرح شد [۳۰]. دنگ و همکاران (۲۰۱۱)، یک مدل بهینه چندسطحی و چنددوره‌ای را برای بازیافت زباله‌های شهری مطرح کردند و زباله‌های غیرخطرناک را موردبررسی قرار دادند [۹]. داس و همکاران (۲۰۱۱)، محصولات را در سطوح متفاوت لحاظ کردند و بازارهای متفاوتی برای هر دسته در نظر گرفتند [۸]. در این مدل توزیع‌کننده (خرده‌فروش‌ها) به‌عنوان مرکز جمع‌آوری در نظر گرفته شده است. پس از آن مدل چندسطحی و چنددوره‌ای دیگری توسط ژنگ و همکاران (۲۰۱۴)، ارائه شد [۴۱]. به‌جز تسهیلات پردازش زباله و مراکز تولید زباله عناصر دیگری چون ایستگاه‌های انتقال در شبکه جمع‌آوری زباله می‌تواند در بهبود تابع هدف مؤثر باشد. آسفی و لیم (۲۰۱۵)، وجود این عنصر در شبکه جمع‌آوری زباله را بررسی کردند [۳].

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. مرور مبانی نظری

سال	پژوهشگر	طراحی شبکه	جمع آوری	دفن	متغیرهای تصمیم					هزینه‌ها				مدل سازی								تابع هدف					روش حل					عدم‌قطعیت				زباله		برخورد با زباله				مرکز جمع‌آوری			سایر		
					موجودی	زباله‌های جمع‌آوری‌شده	زباله‌های مدیریت‌شده	تخصیص	مکان‌یابی	هزینه برخورد با زباله	هزینه جمع‌آوری	هزینه عملیات	هزینه‌ی حمل‌ونقل	خطی	غیر خطی	قطعی	غیرقطعی	چندسطحی	پویا	چنددوره‌ای	چندزباله‌ای	تک‌هدفه	چندهدفه	بیشینه‌سازی سود	کمینه‌سازی هزینه	کمینه‌سازی ریسک	دقیق	ابتکاری	فرا ابتکاری	الگوریتم‌های تجاری	سایر	موجودی	زباله‌های مدیریت شده	زباله‌های حمل‌شده	هزینه‌ها	خطرناک	غیرخطرناک	دفن	سوزاندن	کمپوست	بازیابی و بازیافت	مرکز جمع‌آوری سوم	مرکز توزیع به‌عنوان مرکز جمع‌آوری	مرکز جمع‌آوری جداگانه	مسیریابی	مکان‌یابی	ظرفیت دار
	تعداد	۲۱	۹	۲	۲	۲۳	۱۲	۱۸	۱۶	۱۰	۱۱	۹	۲۳	۲۶	۴	۲۰	۸	۱۵	۲	۸	۱۵	۱۶	۱۴	۴	۲۰	۶	۹	۶	۲	۱۴		۱	۲	۲	۳	۸	۲۶	۲۳	۱۳	۹	۱۷	۱	۵	۲۲	۱۱	۱۶	۲۴
2010	Zhang, Guo He Huang,LiHe	x			x	x	x			x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x			x							x	x	x			x	x	x	x	x		x				x
2011	Deng et al	x				x		x	x		x			x				x		x	x	x			x				x								x	x	x	x	x			x	x	x	x
2011	Das, Abdul H. Chowdhury	x				x	x		x	x	x		x	x				x			x	x		x						x							x				x		x			x	x
2011	Ye et al		x					x	x					x		x							x			x				x							x				x			x		x	
2011	Tavares, Zsigraiová , Semiao			x			x		x		x		x	x		x							x								x						x	x	x							x	
2011	Maurizio Faccioa, Alessandro Persona, Giorgia Zanin		x			x						x		x		x							x					x									x							x	x		x
2011	Gupta, C. Sharma	x	x			x							x	x		x		x			x	x			x												x	x	x	x	x			x	x		x
2012	Buhrkala, Larsena, Ropkea		x			x		x			x		x	x		x						x			x			x									x							x	x		x
2012	Achillas et al		x			x		x			x		x	x		x					x		x		x					x						x	x	x			x			x	x		x
2012	Xie et al		x			x		x	x		x	x	x	x		x							x		x	x	x			x						x		x	x					x	x	x	x
2012	Ghiani et al		x					x	x		x		x	x		x						x					x	x		x							x							x		x	x
2012	Samanlioglu	x				x		x	x				x	x		x		x					x		x	x	x			x						x		x			x			x	x	x	x
2013	Eiselt, Marianov			x		x		x	x	x		x	x		x	x							x		x	x	x			x							x	x						x		x	x
2013	Ezequiel Santibañez-Aguilar et al	x				x	x			x			x	x		x					x		x	x												x	x				x			x			

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول ۱. مرور مبانی نظری

سال	نویسنده	طراحی شبکه جمع‌آوری دفن		متغیرهای تصمیم					هزینه‌ها				مدل سازی						تابع هدف							روش حل					عدم قطعیت				زباله		برخورد با زباله				مرکز جمع‌آوری			سایر		
				موجودی	زباله‌های جمع‌آوری‌شده	زباله‌های مدیریت‌شده	تخصیص	مکان‌یابی	هزینه برخورد با زباله	هزینه جمع‌آوری	هزینه عملیات	هزینه حمل‌ونقل	خطی	غیرخطی	قطعی	غیرقطعی	چندسطحی	پویا	چنددوره‌ای	چندزباله‌ای	تک‌هدفه	چندهدفه	بیشینه‌سازی سود	کمینه‌سازی هزینه	کمینه‌سازی ریسک	دقیق	ابتکاری	فراابتکاری	الگوریتم‌های تجاری	سایر	موجودی	زباله‌های مدیریت شده	زباله‌های حمل‌شده	هزینه‌ها	خطرناک	غیرخطرناک	دفن	سوزاندن	کمپوست	بازیابی و بازیافت	مرکز جمع‌آوری سوم	مرکز توزیع به عنوان مرکز جمع‌آوری	مرکز جمع‌آوری جداگانه	مسیریابی	مکان‌یابی	ظرفیت دار
2013	Berglund, Changhyun Kwo	x					x	x				x	x			x	x					x		x	x	x	x		x						x		x	x	x	x			x	x	x	
2013	Zhang, Huang,LiHe	x		x	x	x			x	x	x	x	x			x	x		x	x	x			x						x		x				x	x	x		x		x				x
2014	Sadjadi et al	x			x	x	x	x		x		x		x		x	x			x		x		x			x									x	x			x			x		x	x
2014	Santibañeet al	x			x	x			x		x	x	x		x		x			x		x	x		x					x						x	x			x		x				
2014	Xiaodong et al	x			x						x	x	x			x			x		x			x						x				x		x	x	x					x			x
2014	Vadenbo et al	x				x							x		x							x							x						x		x	x								x
2014	Wu, et al	x				x			x				x			x		x	x		x		x							x						x	x		x		x					
2014	Vahdanie et al	x			x		x	x				x		x		x	x			x	x			x						x			x	x		x	x			x			x		x	x
2014	Huang, et al	x			x	x	x					x	x			x	x		x	x	x			x					x	x				x		x	x	x	x				x		x	x
2014	Pei et al	x			x		x		x		x	x	x		x		x			x		x		x		x			x							x	x	x	x	x		x				x
2014	Ghiani,et al	x					x	x		x			x		x					x	x					x	x									x	x						x		x	x
2015	Xuea et all		x		x		x					x	x		x						x			x		x			x							x	x	x					x	x		x
2015	Mavrotas et al	x			x	x					x	x	x		x		x		x	x		x		x						x					x	x	x	x	x	x			x			x
2015	Asefi et al	x			x	x	x	x				x	x		x		x			x	x			x		x			x						x	x	x			x			x	x	x	x
2016	Tunalioglu et al	x			x		x	x	x			x	x		x				x		x			x				x								x							x	x	x	x
2016	Yadav et al	x			x		x	x	x		x	x		x	x		x				x			x					x							x	x		x	x			x		x	x
2016	Inghels et al		x				x				x	x	x		x			x	x		x			x						x							x						x	x		x
2017	Nguyen et al		x				x					x	x		x			x			x			x						x						x	x						x	x		x

www.SID.ir

Archive of SID

در میان پژوهش‌های کارشده در این زمینه در حوزه برون‌سپاری پردازش زباله‌ها کمتر کار شده است و در هیچ پژوهشی از مزایده برای برون‌سپاری استفاده نشده است؛ درحالی‌که در دنیای امروز بسیاری از برون‌سپاری‌ها از طریق برگزاری مناقصات و مزایدات انجام می‌شود. نکته دیگری که در میان پژوهش‌ها کمتر به چشم می‌خورد، موضوع خرید زباله از نقاط تولید زباله است. علی‌رغم اینکه در بسیاری از کشورها حتی در سطوح بین‌المللی زباله خریدوفروش می‌شود؛ اما تعیین قیمت خرید زباله کمتر موردتوجه قرار گرفته است. در تعداد کمی از پژوهش‌ها که به موضوع خرید زباله اشاره شده است، در هیچ یک قیمت خرید، متغیر تصمیم در نظر نگرفته شده و همواره این مقدار یک پارامتر ثابت بوده است؛ درحالی‌که متغیربودن قیمت به افزایش چشم‌گیر سود منجر خواهد شد؛ بنابراین در این پژوهش در راستای پرکردن شکاف مبانی نظری در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی ارائه شده است که قدرت تنظیم تصمیم‌ها و طراحی شبکه مدیریت پسماند شهری با توجه به تعادل قدرت بین سازمان جمع‌آوری‌کننده و شرکت‌هایی که عمدتاً به بازیافت زباله در قالب شرکت در مناقصات مربوطه می‌پردازند را دارد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

مسئله موردبررسی بخشی از شبکه مدیریت پسماند شهر تهران است و نمونه موردمطالعه در این پژوهش مربوط به مناطق شرق تهران است. در تهران چهار دسته زباله توسط مناطق تولید زباله به شهرداری تهران تحویل داده می‌شود. این چهار دسته شامل زباله‌های بازیافتی، زباله‌های کمپوست‌شدنی، زباله‌های سوزاندنی و زباله‌های دفن‌شدنی هستند. نحوه دریافت زباله‌ها به این ترتیب است که در ارتباط با زباله‌های بازیافتی، کمپوستی و سوزاندنی شهرداری تهران به مناطق تولید زباله پول پرداخت می‌کند و درحقیقت زباله‌ها را از آن‌ها می‌خرد. قیمت خرید زباله‌ها توسط مدل تعیین‌شده و بسته به میزان زباله دریافتی از مناطق تولید زباله و البته کیفیت زباله‌ها می‌تواند متفاوت باشد. در ارتباط با دسته آخر زباله‌ها که زباله‌های دفن‌شدنی هستند، مناطق تولید زباله به شهرداری شهر تهران پول پرداخت می‌کنند؛ بنابراین در ارتباط با زباله‌های بازیافتی، کمپوستی و سوزاندنی، دریافت زباله از مناطق شهری و نیز پردازش این زباله‌ها هزینه محسوب می‌شود و فروش محصول حاصل از پردازش درآمد را تشکیل می‌دهد؛ درحالی‌که برای زباله‌های دفن‌شدنی دریافت زباله از مناطق شهری درآمد و دفن آن‌ها هزینه محسوب می‌شود.

پس از دریافت زباله‌ها از مناطق شهری برای دو دسته از زباله‌ها (زباله‌های بازیافتی و زباله‌های کمپوستی) شهرداری با دو گزینه روبه‌رو است: گزینه نخست برون‌سپاری پردازش و در عمل فروش زباله‌ها به‌صورت خام است که این عمل از طریق برگزاری مزایده صورت می‌گیرد. شرکت‌ها قیمت پیشنهادی خود را اعلام می‌کنند و شهرداری برای هر منطقه به‌صورت جداگانه،

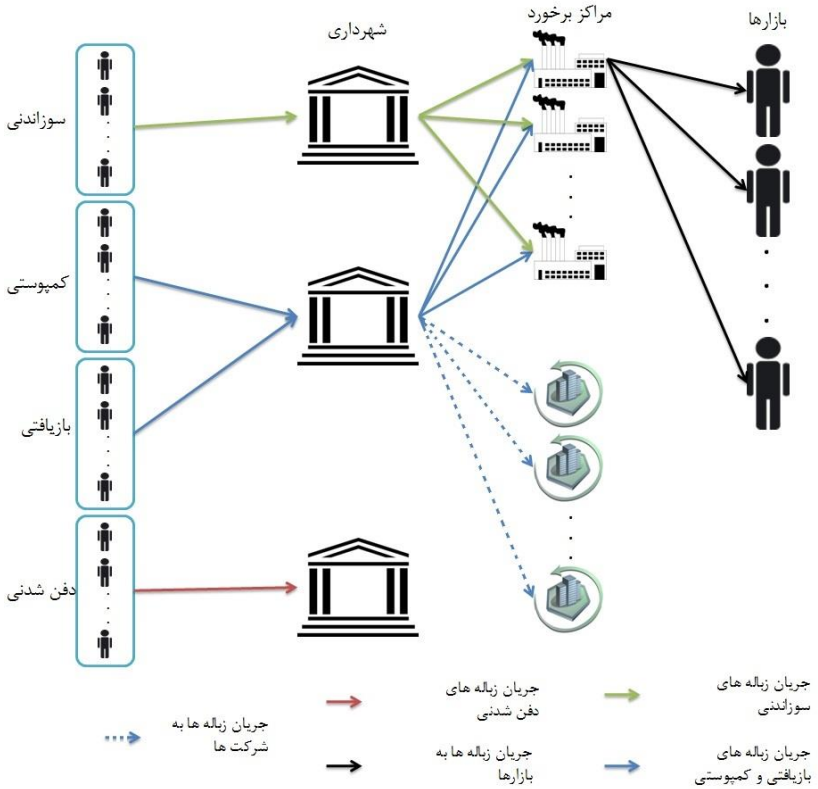
www.SID.ir

Archive of SID

تصمیم می‌گیرد که زباله‌ها را به کدام شرکت بفروشد. زباله‌ها به‌صورت یکجا به شرکت انتخابی فروخته شده و تقسیم نمی‌شود؛ گزینه دوم این است که زباله‌ها توسط خود شهرداری پردازش شوند که در این صورت تصمیم‌های مربوط به طراحی شبکه باید اخذ شود. بدین ترتیب شرکت‌های بازیافتی و کمپوستی با توجه به تجربه خود و پیش‌بینی قیمت رقبا حدود پایین و بالا برای قیمت ارائه‌شده در نظر می‌گیرند؛ سپس یک درجه عضویت (امکان برد در مزایده) برای قیمت ارائه‌شده در لحاظ می‌کنند که با ارائه قیمت بالاتر درجه عضویت آن نیز بیشتر است و بخشی از تابع هدف شرکت‌ها، بیشینه‌کردن این درجه عضویت است؛ از طرفی برای اینکه سود شرکت نیز بهینه شود، شرکت‌ها با درنظرگرفتن یک حد پایین برای سود خود و با تعریف متغیر تصمیم α با توجه به روابط ۳۴ تا ۴۰ سعی می‌کنند بیشترین انحراف را از حداقل مقدار سود بگیرند. شهرداری نیز با درنظرگرفتن قیمت پیشنهادی همه شرکت‌های شرکت‌کننده در مزایده و همچنین سود ناشی از پردازش زباله‌ها توسط خود، با هدف بیشینه‌کردن سود نهایی، تصمیم می‌گیرد که زباله‌ها را خود پردازش کند و یا آن‌ها را بفروشد. در مواردی که تصمیم به برون‌سپاری گرفته شود، شرکت پیمان‌کار نیز انتخاب می‌شود. در ارتباط با دسته سوم و چهارم زباله‌ها (زباله‌های سوزاندنی و دفن‌شدنی) شهرداری خود پردازش آن‌ها را انجام می‌دهد؛ بنابراین مکان‌یابی مراکز برخورد و ظرفیت آن‌ها، تخصیص مناطق تولید زباله به مراکز برخورد موردسؤال است. به‌صورت خلاصه شبکه مدیریت زباله‌های شهری موردبررسی در زنجیره این مدل در شکل ۱، مشاهده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. شبکه مدیریت زباله شهری مورد مطالعه

مفروضات استفاده‌شده در مدل‌سازی مسئله به‌صورت زیر است:

ـ عملاً زباله‌های شهر تهران در مرکزی واقع در کهریزک جداسازی می‌شوند؛ اما در این مسئله فرض شده است که زباله‌ها به‌صورت تفکیک‌شده به دست شهرداری می‌رسد؛ بنابراین مرکزی به‌عنوان مرکز مرتب‌سازی در نظر گرفته نشده است. مشابه این فرض در مدل لم و همکاران (۲۰۱۴)، نیز در نظر گرفته شد [۲۱]؛

ـ زباله‌هایی که به‌صورت تفکیک‌شده به دست شهرداری می‌رسد به چهار دسته تقسیم‌بندی شده است: دسته‌ی B، زباله‌های خشک و قابل بازیافت که باید بازیافت شوند؛ زباله‌های دسته‌ی C که زباله‌های کمپوستی هستند؛ زباله‌های دسته D که زباله‌های سوزاندنی را شامل می‌شوند و زباله‌های دسته‌ی E که زباله‌های دفن‌شدنی هستند. در انواع پژوهش‌ها زباله‌های مختلفی در دسته‌های مختلف در نظر گرفته شده‌اند.

ـ زباله‌های دسته‌ی B، C وD از مناطق تولید زباله خریداری می‌شوند و قیمت پرداختی به آنان یکی از متغیرهای تصمیم مسئله بوده و متناسب با میزان زباله دریافتی و نیز کیفیت زباله متفاوت

www.SID.ir

Archive of SID

است؛ بدین ترتیب که برای هر دسته زباله یک رابطه تعیین شده است. در این رابطه یک حد بالا و حد پایین برای قیمت تعیین شده است و هر چقدر قیمت پیشنهادی شهرداری به مناطق تولید زباله بیشتر باشد (به حد بالای قیمت نزدیک‌تر باشد)، آن‌ها بیشترین زباله تولیدی خود را در اختیار شهرداری قرار می‌دهند و برعکس. این فرض در ارتباط با نوآوری به‌کاررفته در این مقاله برای این مطالعه به‌کار گرفته شده است.

در رابطه با زباله‌های دسته E که دفن‌شدنی هستند، مناطق تولید زباله به شهرداری پول پرداخت می‌کنند تا این زباله‌ها را از منطقه‌ی خود دور کنند. در اینجا نیز بر اساس رابطه‌ای، هرچقدر قیمتی که شهرداری به مناطق تولید زباله ارائه می‌دهد، کمتر باشد (به حد پایین نزدیک‌تر باشد) مناطق تولید زباله، زباله بیشتری را در اختیار شهرداری قرار می‌دهند و برعکس. با توجه به پژوهش موردبررسی این فرض در نظر گرفته شده است:

ـ خروجی حاصل از مراکز بازیافت، کمپوست و نیز انرژی حاصل از سوزاندن زباله قابل‌فروش است. این فرض مشابه فرض درنظرگرفته‌شده توسط سدهی و ریمر (۲۰۰۱) است [۲۶]؛

ـ زباله‌های بازیافتی و کمپوستی می‌توانند توسط خود شهرداری مدیریت شده و یا برون‌سپاری شوند. برون‌سپاری این دسته از زباله‌ها به‌نوعی فروش آن‌ها به‌صورت خام است و عملیات سوزاندن و دفن توسط خود شهرداری انجام می‌شود. این فرض با توجه به ویژگی پژوهش موردبررسی در این مقاله لحاظ شده است.

فروش زباله‌های خام بازیافتی و کمپوستی به شرکت‌ها از طریق برگزاری مزایده صورت می‌گیرد. شرکت‌ها با پیش‌بینی قیمت رقبا یک بار اجازه‌ی ارائه قیمت موردنظر خود را دارند و تا انتهای مزایده حق ندارند قیمت را تغییر دهند و از قیمت پیشنهادی رقبا نیز بی‌خبر هستند. با درنظرگرفتن سیستم برگزاری مناقصات توسط شهرداری از این فرض استفاده شده است:

ـ در مورد فروش زباله‌های یک منطقه به شرکت‌ها تقسیم‌پذیری وجود ندارد؛ بنابراین در میان شرکت‌کنندگان در مزایده برای زباله‌های یک منطقه تمامی زباله‌های آن منطقه به شرکت برنده در مزایده تعلق می‌گیرد. با توجه به آنچه در برگزاری مزایدات در تهران صورت می‌گیرد، این فرض لحاظ شده است.

با توجه به اینکه در این پژوهش دو گزینه برای برخورد با زباله‌های بازیافتی و کمپوستی در نظر گرفته شده است، این امکان وجود دارد که هیچ یک از شرکت‌ها در مزایده برنده نشوند و شهرداری خود مسئولیت پردازش زباله‌ها را بر عهده گیرد.

مدل به‌صورت دوسطحی است: سطح اول (رهبر) شهرداری و سطح دوم (پیرو) شرکت‌ها هستند و هدف هر دو سطح بیشینه‌کردن سود است.

مسئله چندکالایی است (چند نوع زباله در نظر گرفته شده است) و تجهیزات بدون هیچ‌گونه

www.SID.ir

Archive of SID

اختلال به فرآیندهای خود ادامه می‌دهند. پژوهش‌های متعددی چندین نوع زباله را در نظر گرفته‌اند. ازجمله‌ی آن‌ها می‌توان به پژوهش سجادی و همکاران (۲۰۱۴) و ماوراتوس و همکاران (۲۰۱۵) اشاره کرد [۲۴، ۲۰].

تصمیم‌هایی که در این مدل اخذ می‌شود شامل تصمیم‌هایی در ارتباط با میزان زباله دریافتی از مناطق تولید زباله، قیمت خرید زباله، مکان‌یابی مراکز برخورد، تخصیص مراکز تولید زباله به تسهیلات برخورد، تصمیم در مورد فروش و یا عدم‌فروش زباله‌های خام بازیافتی و کمپوستی به‌صورت خام به شرکت‌ها و تعیین شرکت موردنظر در مزایده است.

فرموله بندی مسئله

اندیس‌ها

i : اندیس مراکز تولید زباله

n: اندیس مراکز دفن

J: اندیس مراکز سوزاندن

m: اندیس مراکز کمپوست

I: اندیس مراکز بازیافت

h: اندیس شرکت‌های بازیافتی

h': اندیس شرکت‌های کمپوستی

بر اساس اندیس‌های تعریف شده پارامترهای سطح اول مطابق با جدول ۲ و نیز متغیرهای این سطح مطابق جدول ۳، تعریف می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲.پارامترهای سطح اول

پارامتر	نوع زباله	توضیح پارامتر
FR_l	بازیافتی	هزینه ثابت تأسیس مرکز بازیافت l، مرکز سوزاندن j، مرکز کمپوست m، مرکز دفن n
FI_j	سوزاندنی	
FC_m	کمپوستی	
FL_n	دفن‌شدنی	
RR_l	بازیافتی	ظرفیت برای مرکز بازیافت l، مرکز سوزاندن j، مرکز کمپوست m، مرکز دفن n
RI_j	سوزاندنی	
RC_m	کمپوستی	
RL_n	دفن‌شدنی	
lb	بازیافتی	قیمت فروش کالاهای حاصل از بازیافت، کود حاصل از کمپوست و انرژی حاصل از سوزاندن زباله‌ها به بازار
ld	سوزاندنی	
lc	کمپوستی	
db	بازیافتی	تقاضای بازار برای کالاهای بازیافتی، کود و برق حاصل از سوزاندن زباله‌ها
dd	سوزاندنی	
dc	کمپوستی	
CB_l	بازیافتی	هزینه بازیافت هر واحد زباله بازیافتی در مرکز l، زباله سوزاندنی در مرکز j، زباله کمپوستی در مرکز m و دفن زباله‌های دفن‌شدنی در مرکز n
CI_j	سوزاندنی	
CC_m	کمپوستی	
QR_i^{max}	بازیافتی	بیشترین مقدار زباله تولیدی در سطح کیفیت بازیافتی، سوزاندنی، کمپوستی و دفن‌شدنی توسط مرکز تولید زباله i
QI_i^{max}	سوزاندنی	
QC_i^{max}	کمپوستی	
QL_i^{max}	دفن شدنی	
QR_i^{min}	بازیافتی	کمترین مقدار زباله تولیدی در سطح کیفیت بازیافتی، سوزاندنی، کمپوستی و دفن‌شدنی توسط مرکز تولید زباله i
QI_i^{min}	سوزاندنی	
QC_i^{min}	کمپوستی	
QL_i^{min}	دفن شدنی	
α	بازیافتی	درصدی از کل زباله‌های بازیافتی، سوزاندنی و کمپوستی که قابل بازیابی هستند.
γ	سوزاندنی	
β	کمپوستی	
$prmin_h$	بازیافتی	حد پایین قیمت پیشنهادی شرکت h
$pcmin_{h'}$	کمپوستی	حد پایین قیمت پیشنهادی شرکت h'
$prmax_h$	بازیافتی	حد بالای قیمت پیشنهادی شرکت h
$pcmax_{h'}$	کمپوستی	حد بالای قیمت پیشنهادی شرکت h'
$\overline{pr_i}$	بازیافتی	میانگین درآمد فروش زباله‌های بازیافتی و کمپوستی برای مرکز تولید زباله i
$\overline{pc_i}$	کمپوستی	
B		بودجه شرکت برای تأسیس مراکز

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. متغیرهای سطح اول

متغیر	نوع زباله	توضیح متغیر
x_l	بازیافتی	اگر مرکز بازیافت l، مرکز سوزاندن j، مرکز کمپوست m و مرکز دفن n تأسیس شوند، برابر یک است و در غیر این صورت برابر صفر می‌شود.
z_j	سوزاندنی	
y_m	کمپوستی	
u_n	دفن‌شدنی	
WB_i	بازیافتی	کل هزینه خرید زباله‌های بازیافتی، سوزاندنی، کمپوستی و دفن‌شدنی از مرکز تولید زباله i
WD_i	سوزاندنی	
WC_i	کمپوستی	
WE_i	دفن‌شدنی	
QR_{il}	بازیافتی	میزان زباله بازیافتی، سوزاندنی، کمپوستی و دفن‌شدنی که از مراکز تولید زباله i دریافت می‌شود و به مراکز بازیافت l، مراکز سوزاندن j، مراکز کمپوست m و مراکز دفن n ارسال می‌شود.
QI_{ij}	سوزاندنی	
QC_{im}	کمپوستی	
QL_{in}	دفن‌شدنی	
QRO_{ih}	بازیافتی	میزان زباله بازیافتی خریداری‌شده از مرکز تولید زباله i که به شرکت بازیافتی h فروخته می‌شود.
$QCO_{ih'}$	کمپوستی	میزان زباله کمپوستی خریداری‌شده از مرکز تولید زباله i که به شرکت کمپوستی h' فروخته می‌شود.
hr_{ih}	بازیافتی	اگر زباله‌های تولیدشده بازیافتی در مرکز تولید زباله i به شرکت بازیافتی h فروخته شود، برابر یک است و در غیر این صورت برابر صفر می‌شود.
$hc_{ih'}$	کمپوستی	اگر زباله‌های تولیدشده کمپوستی در مرکز تولید زباله i به شرکت کمپوستی h' فروخته شود، برابر یک است و در غیر این صورت برابر صفر می‌شود.

تابع هدف و محدودیت‌های سطح اول. سود حاصل عبارت است از: مجموع عواملی چون اختلاف سود حاصل از زباله‌های بازیافتی (سود از طریق برون‌سپاری و یا سود ناشی از بازیافت زباله توسط خود سیستم) و قیمت خرید زباله‌های بازیافتی، اختلاف سود حاصل از زباله‌های کمپوستی (سود از طریق برون‌سپاری و یا سود ناشی از کمپوست زباله توسط خود سیستم) و قیمت خرید زباله‌های کمپوستی، اختلاف سود حاصل از زباله‌های سوزاندنی (اختلاف قیمت فروش و هزینه‌ی سوزاندن برای یک واحد زباله‌ی سوزاندنی درمجموع زباله‌های سوزاندنی دریافتی) و قیمت خرید زباله‌های سوزاندنی، اختلاف میزان پول دریافتی در ازای دفع زباله‌های دفن‌شدنی. هزینه دفن و نیز هزینه‌های تأسیس تسهیلات باید کسر شود.

www.SID.ir

Archive of SID

$$z = \sum_i (\overline{pr_i} - wb_i) + \sum_i (\overline{pc_i} - wc_i) + \sum_i \sum_j \left((\gamma mi_j ld) - \gamma qi_{ij} ci_j - wd_i \right) + \sum_i (we_i - \sum_n cl_n ql_{in}) \sum_l fr_l x_l - \sum_m fm_m y_m - \sum_n fl_n u_n - \sum_j fi_j z_j \quad (۱)$$

$$\sum_l QR_{li} \leq QR_i^{max} ps_i \qquad \forall i \quad (۲)$$

$$\sum_m QC_{mi} \leq QC_i^{max} ps'_i \qquad \forall i \quad (۳)$$

محدودیت‌های ۲ و ۳ علاوه بر رعایت حد بالای زباله‌های تولیدشده هر شهر، تضمین می‌کنند درصورتی‌که سیاست عدم‌برون‌سپاری انتخاب شد، زباله‌ها برای پردازش به مراکز برخورد ارسال شوند.

$$\sum_j QI_{ji} \leq QI_i^{max} \qquad \forall i \quad (۴)$$

$$\sum_n QL_{ni} \leq QL_i^{max} \qquad \forall i \quad (۵)$$

محدودیت‌های ۴ و ۵ رعایت حد بالای میزان زباله تولیدشده در هر شهر را نشان می‌دهند.

$$QC_{mi} \leq y_m QC_i^{max} \qquad \forall i, m \quad (۶)$$

محدودیت ۶ برای تضمین اینکه زباله‌های هر شهر در صورت تأسیس آن مرکز، به آن نقطه ارسال شوند است.

$$QRO_i \leq QR_i^{max} \sum_h hr_{ih} \qquad \forall i \quad (۷)$$

$$QCO_i \leq QC_i^{max} \sum_{h'} hc_{ih'} \qquad \forall i \quad (۸)$$

محدودیت‌های ۷ و ۸، امکان برون‌سپاری زباله‌های هر شهر را تنها در صورتی مجاز می‌دارد که سیاست برون‌سپاری اتخاذ شده باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

$$wbmin_i \le wb_i \le wbmax_i \qquad \forall i \qquad (۹)$$

$$wdmin_i \le wd_i \le wdmax_i \qquad \forall i \qquad (۱۰)$$

$$wemin_i \le we_i \le wemax_i \qquad \forall i \qquad (۱۱)$$

$$wcmin_i \le wc_i \le wcmax_i \qquad \forall i \qquad (۱۲)$$

محدوده‌ی قیمت خرید زباله از مراکز تولید زباله توسط محدودیت‌های ۹ تا ۱۲ تعیین می‌شود.

$$\sum_j QI_{ji} = QI_i^{min} + \left(\frac{wd_i - wdmin_i}{wdmax_i - wdmin_i}\right)\left(QI_i^{max} - QI_i^{min}\right) \qquad \forall i \qquad (۱۳)$$

$$\sum_l QL_{ni} = QL_i^{min} + \left(\frac{we_i - wemin_i}{wemax_i - wemin_i}\right)\left(QL_i^{max} - QL_i^{min}\right) \qquad \forall i \qquad (۱۴)$$

$$QRO_i + \sum_l QR_{li} = QR_i^{min} + \left(\frac{wb_i - wbmin_i}{wbmax_i - wbmin_i}\right) * \left(QR_i^{max} - QR_i^{min}\right) \qquad \forall i \qquad (۱۵)$$

$$QCO_i + \sum_m QC_{mi} = QC_i^{min} + \left(\frac{wc_i - wcmin_i}{wcmax_i - wcmin_i}\right) * \left(QC_i^{max} - QC_i^{min}\right) \qquad \forall i \qquad (۱۶)$$

محدودیت‌های ۱۳ تا ۱۶ رابطه متناسب بین قیمت‌های تعیین‌شده برای خرید زباله و میزان زباله دریافتی از منطقه موردنظر را تعیین می‌کنند؛ به عبارتی ازآنجاکه کمترین قیمت پیشنهادی به هر منطقه شهری برابر با دریافت کمترین میزان زباله‌ی تولیدی آن شهر است؛ بنابراین میزان زباله دریافتی از هر منطقه تولید زباله حداقل به‌اندازه‌ی QR_i^{min} است؛ سپس به هر اندازه که قیمت پیشنهادی به حد بالای خود نزدیک‌تر باشد، میزان زباله بیشتری از آن منطقه تولید زباله دریافت می‌شود. به‌این‌ترتیب با پیشنهاد قیمت بالاتر میزان زباله بالاتری نیز دریافت می‌شود (قیمت پیشنهادی و میزان زباله‌ی دریافتی متغیرهای تصمیم هستند).

$$\overline{pr_i} = (pr_h hr_{ih}) + PS_i[\sum_l \sum_k \alpha QR_{il}(LB_k MB_{lk} - CB_L)] \qquad \forall i \qquad (۱۷)$$

$$\overline{pc_i} = (pc_{h'} hc_{ih'}) + PS'_i[\sum_m \sum_k \beta QC_{im}(LC_k MC_{mk} - CC_m)] \qquad \forall i \qquad (۱۸)$$

www.SID.ir

Archive of SID

روابط ۱۷ و ۱۸ برای هر شهر کمک می‌کند تا شرکتی که بیشترین قیمت را در مزایده پیشنهاد داده است، برنده شود و درصورتی‌که قیمت‌های پیشنهادی سود موردنظر را نداشته باشند، برون‌سپاری انجام نمی‌شود.

$$ps_i = 1 - \sum_h hr_{ih} \qquad \forall i \qquad (۱۹)$$

$$ps'_i = 1 - \sum_{h'} hc_{ih'} \qquad \forall i \qquad (۲۰)$$

محدودیت‌های ۱۹ و ۲۰، تضمین می‌کنند که دو سیاست برون‌سپاری و عدم‌برون‌سپاری با هم اخذ نشوند.

$$\sum_i \sum_l \beta QR_{il} \le db \qquad (۲۱)$$

$$\sum_i \sum_j \gamma QI_{ji} \le dd \qquad (۲۲)$$

$$\sum_i \sum_m \alpha QC_{im} \le dc \qquad (۲۳)$$

محدودیت‌های ۲۱–۲۳ مربوط به ارضای تقاضا هستند.

$$\sum_l fr_l x_l + \sum_m fm_m y_m + \sum_j fi_j z_j + \sum_n fl_n u_n \le B \qquad (۲۴)$$

محدودیت ۲۴، مربوط به رعایت بودجه است.

$$\sum_i QR_{li} \le rr_l x_l \qquad \forall l \qquad (۲۵)$$

$$\sum_i QI_{ji} \le ri_j z_j \qquad \forall j \qquad (۲۶)$$

$$\sum_i QL_{ni} \le rl_n u_n \qquad \forall n \qquad (۲۷)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_i QC_{mi} \le rc_m y_m \qquad \forall m \qquad (۲۸)$$

محدودیت‌های ۲۵-۲۸، مربوط به رعایت ظرفیت مراکز برخورد هستند.

پارامترهای سطح دوم

π_{ih} : حداقل سودی که شرکت h برای مزایده برای دریافت زباله‌های بازیافتی شهر i در نظر دارد.

τ_{ih} : سود بازیافت هر واحد زباله‌ی شهر i برای شرکت h

π'_{ih} : حداقل سودی که شرکت h' برای مزایده برای دریافت زباله‌های کمپوستی شهر i در نظر دارد.

τ'_{ih} : سود کمپوست هر واحد زباله‌ی شهر i برای شرکت h'

متغیرهای سطح دوم

α_{ih} : این متغیر نسبت افزایش سود نهایی از حداقل سود تعیین‌شده شرکت‌های بازیافتی است.

$\lambda 1_{ih}, \lambda 2_{ih}$ $\lambda 3_{ih}, \lambda 4_{ih}$ متغیرهای $K.K.T$ برای شرکت‌های بازیافتی

$\alpha'_{ih'}$ این متغیر نسبت افزایش سود نهایی از حداقل سود تعیین‌شده‌ی شرکت‌های کمپوستی است.

$\lambda 1'_{ih'}, \lambda 2'$ $\lambda 3'_{ih'}, \lambda 4'$ متغیرهای $K.K.T$ برای شرکت‌های کمپوستی

تابع هدف و محدودیت‌های سطح دوم

$$Max\ \mu(PR_{ih}) + \alpha_{ih} \qquad \forall i, h \qquad (۲۹)$$

این تابع هدف به دنبال بیشینه‌کردن درجه عضویت قیمت پیشنهادی و یا به عبارتی امکان برد در مزایده با ارائه قیمت پیشنهادی است. اگر تنها بیشینه‌کردن امکان برد مدنظر قرار گیرد، آنگاه مدل بدون درنظرگرفتن سود شرکت همواره بالاترین حد قیمت را ارائه می‌دهد تا امکان برد را به حداکثر برساند؛ بنابراین یک متغیر چون α در نظر گرفته شده است که در اصل انحراف از حد پایین سود شرکت را مشخص می‌کند. با درنظرگرفتن این متغیر در تابع هدف می‌توان

www.SID.ir

Archive of SID

بیشینه‌سازی سود شرکت را از طریق انحراف بیشتر از سود میانگین لحاظ کرد.

$$\mu(PR_{ih}) = \frac{PR_{ih}-PR_{ih}^{min}}{PR_{ih}^{max}-PR_{ih}^{min}} \qquad \forall i,h \qquad (۳۰)$$

این محدودیت درجه عضویت قیمت پیشنهادی و یا امکان برد در مزایده را نشان می‌دهد. یک حد بالا و حد پایین برای قیمت تعیین می‌شود که شرکت باید با پیش‌بینی قیمت پیشنهادی رقبا، آن‌ها را تعیین کند؛ سپس با درنظرگرفتن این حدود امکان برد مشخص می‌شود.

$$PR_{ih}^{min} \leq PR_{ih} \leq PR_{ih}^{max} \qquad \forall i,h \qquad (۳۱)$$

قیمت پیشنهادی باید در محدوده قرار گیرد.

$$\pi_{ih} = QRO_{ih}\tau_{ih} - PR_{ih} \qquad \forall i,h \qquad (۳۲)$$

محدودیت ۳۲، سود هر شرکت برای هر شهر را محاسبه می‌کند.

$$(1+\alpha_{ih})\bar{\pi} \leq \pi_h \qquad \forall i,h \qquad (۳۳)$$

محدودیت ۳۳، تضمین می‌کند که سود از حداقل سود تعیین‌شده توسط شرکت بیشتر باشد و حتی‌الامکان به میزان α_{ih} از آن فاصله داشته باشد.

$$0 \leq \mu(PR_{ih}) \leq 1 \qquad \forall i,h \qquad (۳۴)$$

$$0 \leq \alpha_{ih} \leq 1 \qquad \forall i,h \qquad (۳۵)$$

رویکرد حل مسائل دوسطحی. مسائل دوسطحی از دو سطح تشکیل شده‌اند که سطح اول را رهبر و سطح دوم را پیرو می‌گویند و هر یک به دنبال بهینه‌کردن اهداف خود با محدودیت‌های مختص به خود هستند. در این مسائل رهبر ابتدا تصمیم می‌گیرد و پیرو بر پایه تصمیم رهبر تصمیم‌های خود را اخذ می‌کند. نخستین بار یک نمونه ساده از یک مسئله دوسطحی توسط استکلبرگ[1] (۱۹۳۴) در اقتصاد مطرح شد؛ ازاین‌رو مسائل دوسطحی در دسته مسائل نظریه

1. Stackelberg

www.SID.ir

Archive of SID

بازی‌ها به «بازی استکلبرگ» معروف است [۳۲]. این دسته از مسائل در ۲۰ سال اخیر بسیار موردبحث و بررسی قرار گرفته‌اند. مهم‌ترین تفاوت بین مدل‌هایی که نظریه بازی‌ها را در نظر گرفتند، نوع بازی مورداستفاده است که به تفاوت در روش حل نیز منجر می‌شود. به‌صورت کلی مدل‌هایی که در حوزه‌ی نظریه بازی‌ها انجام گرفته‌اند را می‌توان بر اساس نوع بازی به سه دسته تقسیم کرد: بازی‌های ایستا، بازی‌های پویا و بازی‌های آینده‌نگر انواع بازی‌هایی هستند که در مدل‌ها به کار برده می‌شوند. مدل‌هایی از نوع بازی استکلبرگ در حوزه بازی‌های با افق آینده‌نگری قرار می‌گیرند. در این دسته مدل‌ها دو دسته بازیکن شامل رهبر و پیرو ایفای نقش کرده و در ابتدا رهبر تصمیم‌گیری می‌کند. بعد از حرکت رهبر پیرو عکس‌العمل نشان می‌دهد و دیگر قادر به تغییر این عکس‌العمل نخواهد بود. بازی‌های استکلبرگ اغلب به مدل‌های برنامه‌ریزی چندسطحی و یا دوسطحی منجر می‌شود که از نظر روش‌های محاسباتی بسیار مشکل هستند [۲۸].

برای حل مسائل دوسطحی، در شرایطی که مسئله پیرو محدب و محدود باشد، می‌توان با استفاده از اعمال شرایط $K.K.T$ مسئله را به یک مسئله یک‌سطحی تبدیل کرد. استفاده از این روش یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای حل این دسته از مسائل است که در آن مسئله سطح پایین با استفاده از شرایط $K.K.T$ در مسئله بالا جایگذاری شده و به این ترتیب مسئله به یک مسئله تک‌سطحی تبدیل می‌شود.

روش K.K.T. شرایط کروش- کاهن- تاکر که شرایط لازم بهینگی هستند به‌صورت زیر است:

$$\nabla f(x) = \sum_{i-1}^{m} \lambda_i \nabla g_i(x) \qquad (۳۶)$$

$$\lambda_i g_i(x) = 0 \qquad i = 1, \dots, m \qquad (۳۷)$$

$$g_i(x) \leq 0 \qquad i = 1, \dots, m \qquad (۳۸)$$

$$\lambda_i \geq 0 \qquad i = 1, \dots, m \qquad (۳۹)$$

محدودیت‌های زیر که شرایط $K.K.T$ هستند باید به مدل اضافه شوند:

خطی‌سازی. ازآنجاکه روابط ۱۷-۱۸، ۴۱-۴۷ و ۵۰ شامل متغیرهای غیرخطی هستند؛ بنابراین باید این روابط خطی شوند.
رابطه ۳۶ برای مسئله موردنظر به شکل محدودیت ۴۰ درمی‌آید.

www.SID.ir

Archive of SID

$$-\left(\frac{1}{prmax_{ih}-prmin_{ih}}\right)-\lambda 1_{ih}+\lambda 2_{ih}+\lambda 3_{ih}=0 \qquad \forall i,h \qquad (۴۰)$$

رابطه ۳۷ برای این مسئله به‌صورت محدودیت‌های ۴۱–۴۵، نوشته می‌شود.

$$-1+\pi_{ih}\lambda 3_{ih}+\lambda 4_{ih}=0 \qquad \forall i,h \qquad (۴۱)$$

$$prmin_{ih}\lambda 1_{ih}-pr_{ih}\lambda 1_{ih}=0 \qquad \forall i,h \qquad (۴۲)$$

$$pr_{ih}\lambda 2_{ih}-prmax_{ih}\lambda 2_{ih}=0 \qquad \forall i,h \qquad (۴۳)$$

$$\pi_{ih}\lambda 3_{ih}+\alpha_{ih}\lambda 3_{ih}\pi_{ih}-\tau_{ih}\lambda 3_{ih}QRO_{ih}+pr_{ih}\lambda 3_{ih} -M\lambda 3_{ih}(1-hr_{ih})=0 \qquad \forall i,h \qquad (۴۴)$$

$$\alpha_{ih}\lambda 4_{ih}-\lambda 4_{ih}=0 \qquad \forall i,h \qquad (۴۵)$$

رابطه ۳۸ برای این مسئله به‌صورت محدودیت‌های ۴۶–۵۱، نوشته می‌شود.

$$\lambda 3_{ih}\alpha_{ih}\le\lambda 3_{ih} \qquad \forall i,h \qquad (۴۶)$$

$$\alpha_{ih}\lambda 4_{ih}\le\lambda 4_{ih} \qquad \forall i,h \qquad (۴۷)$$

$$prmin_{ih}-pr_{ih}\le 0 \qquad \forall i,h \qquad (۴۸)$$

$$pr_{ih}-prmax_{ih}\le 0 \qquad \forall i,h \qquad (۴۹)$$

$$\pi_{ih}(1+\alpha_{ih})-\tau_{ih}QRO_i+pr_{ih}-M(1-hr_{ih})\le 0 \qquad \forall i,h \qquad (۵۰)$$

$$\alpha_{ih}\le 1 \qquad \forall i,h \qquad (۵۱)$$

با فرض اینکه x یک متغیر پیوسته و y یک متغیر صفر و یک است، در این صورت به‌جای حاصل‌ضرب این دو متغیر از متغیر θ استفاده می‌شود و روابط ۵۲–۵۴ به مدل اضافه می‌شوند.

$$\theta=x.y$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\theta \leq My \quad (۵۲)$$
$$\theta \leq x \quad (۵۳)$$
$$\theta \geq x - M(1-y) \quad (۵۴)$$

ξ_{ih}، ε_i ، ν_{ih} و δ_{ih} ضرب یک متغیر پیوسته در یک متغیر صفر و یک هستند.

$$\delta_{ih} = QRO_i hr_{ih} \quad \xi_{ih} = pr_{ih} hr_{ih} \quad \nu_{ih} = \lambda 3_{ih} hr_{ih} \quad \varepsilon_i = QR_i ps_i$$

روابط ۵۲-۵۴ برای متغیرهای ξ_{ih}، ε_i و δ_{ih} به شکل محدودیت‌های ۵۵-۶۶ به مدل اضافه می‌شود.

$$\delta_{ih} \leq Mhr_{ih} \quad \forall i,h \quad (۵۵)$$
$$\delta_{ih} \leq QRO_i \quad \forall i,h \quad (۵۶)$$
$$\delta_{ih} \geq QRO_i - M(1-hr_{ih}) \quad \forall i,h \quad (۵۷)$$
$$\varepsilon_i \leq Mps_i \quad \forall i \quad (۵۸)$$
$$\varepsilon_i \leq QR_i \quad \forall i \quad (۵۹)$$
$$\varepsilon_i \geq QR_i - M(1-ps_i) \quad \forall i \quad (۶۰)$$
$$\xi_{ih} \leq Mhr_{ih} \quad \forall i,h \quad (۶۱)$$
$$\xi_{ih} \leq pr_{ih} \quad \forall i,h \quad (۶۲)$$
$$\xi_{ih} \geq pr_{ih} - M(1-hr_{ih}) \quad \forall i,h \quad (۶۳)$$
$$\nu_{ih} \geq \lambda 3_{ih} - M(1-hr_{ih}) \quad \forall i,h \quad (۶۴)$$
(۶۵)
$$\nu_{ih} \leq \lambda 3_{ih} \quad \forall i,h \quad (۶۶)$$
$$\nu_{ih} \leq Mhr_{ih} \quad \forall i,h \quad (۶۷)$$

اگر فرض شود z و u هر دو متغیری پیوسته باشند و برای u یک حد پایین و یک حد بالا وجود داشته باشد، در این صورت به‌جای حاصل‌ضرب این دو متغیر از متغیر α استفاده می‌شود و رابطه ۶۸ به مدل اضافه می‌شود.

$$\alpha = z.u$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\underline{u}z \le \alpha \le \overline{u}z \qquad (۶۸)$$

ϖ_{ih}، σ_{ih}، ρ_{ih} ، ϕ_{ih}، ϱ_{ih} و φ_{ih} ضرب دو متغیر پیوسته هستند.

$$\varpi_{ih} = pr_{ih}\lambda 1_{ih} \qquad \phi_{ih} = QRO_{ih}\lambda 3_{ih}$$
$$\sigma_{ih} = \alpha_{ih}\lambda 4_{ih} \qquad \rho_{ih} = pr_{ih}\lambda 2_{ih}$$

رابطه‌ی ۶۸ برای متغیرهای ϖ_{ih}، σ_{ih}، ρ_{ih} ، ϕ_{ih}، ϱ_{ih} و φ_{ih} به شکل محدودیت‌های ۶۹-۷۴ به مدل اضافه می‌شود.

$$prmin_{ih}\lambda 1_{ih} \le \varpi_{ih} \le prmax_{ih}\lambda 1_{ih} \qquad \forall i,h \qquad (۶۹)$$
$$prmin_{ih}\lambda 2_{ih} \le \rho_{ih} \le prmax_{ih}\lambda 2_{ih} \qquad \forall i,h \qquad (۷۰)$$
$$prmin_{ih}\lambda 3_{ih} \le \varrho_{ih} \le prmax_{ih}\lambda 3_{ih} \qquad \forall i,h \qquad (۷۱)$$
$$0 \le \varrho_{ih} \le \lambda 3_{ih} \qquad \forall i,h \qquad (۷۲)$$
$$0 \le \sigma_{ih} \le \lambda 4_{ih} \qquad \forall i,h \qquad (۷۳)$$
$$QRO_i^{min}\lambda 3_{ih} \le \phi_{ih} \le QRO_i^{max}\lambda 3_{ih} \qquad \forall i,h \qquad (۷۴)$$

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای نمایش اعتبار مدل ارائه‌شده و روش حل به‌کاررفته، در این بخش یک مسئله نمونه حل می‌شود. ابعاد مسئله نمونه استفاده‌شده در جدول ۴، ارائه شده است. پارامترهای استفاده‌شده در مسئله نمونه، داده‌های لازم در ارتباط با مناطق شرق شهر تهران از «سازمان مدیریت پسماند شهر تهران» دریافت شد. مناطق شرق تهران مطابق شکل ۲، شامل مناطق ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۸ است. در شهر تهران ۱۱ ایستگاه انتقال وجود دارد که زباله‌های مناطق با توجه به موقعیت این ایستگاه‌ها به این مکان‌ها انتقال می‌یابند و پس از آن به‌صورت یکجا به ایستگاه‌های پردازش منتقل می‌شوند. ازآنجاکه زباله‌های مناطق ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به «ایستگاه انتقال آزادگان» منتقل می‌شود و زباله‌های منطقه‌ی ۸ به ایستگاه دیگری انتقال می‌یابد؛ بنابراین مناطق ۱۳، ۱۴ و ۱۵ به‌عنوان مورد مطالعه انتخاب شده‌اند؛ به این ترتیب اطلاعات گردآوری‌شده دقیق‌تر به‌دست می‌آید. فرموله‌سازی مسئله تعداد زیادی پارامتر را شامل می‌شود؛ بنابراین نمایش تمامی این

www.SID.ir

Archive of SID

پارامترها به‌واسطه محدودیت فضا امکان‌پذیر نیست؛ درنتیجه بعضی از پارامترهای مهم در جدول ۵، ارائه شده است. مقادیر و داده‌ها برای یک واحد زباله در نظر گرفته شده که این واحد در این مسئله معادل با یک تُن زباله است. مدل‌های ریاضی ارائه‌شده در نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS کدنویسی و با حل‌کننده CPLEX حل شده‌اند. تمامی آزمایش‌های موردنیاز توسط یک رایانه پنج‌هسته‌ای با ۴ گیگابایت حافظه اجرا شد.

جدول۴. ابعاد مسئله نمونه

	تعداد مناطق شهری	تعداد شرکت‌های شرکت‌کننده در مزایده	تعداد تسهیلات بالقوه برای تأسیس مراکز برخورد
مسئله نمونه	۳	۴	برای هر دسته زباله ۲ تسهیل

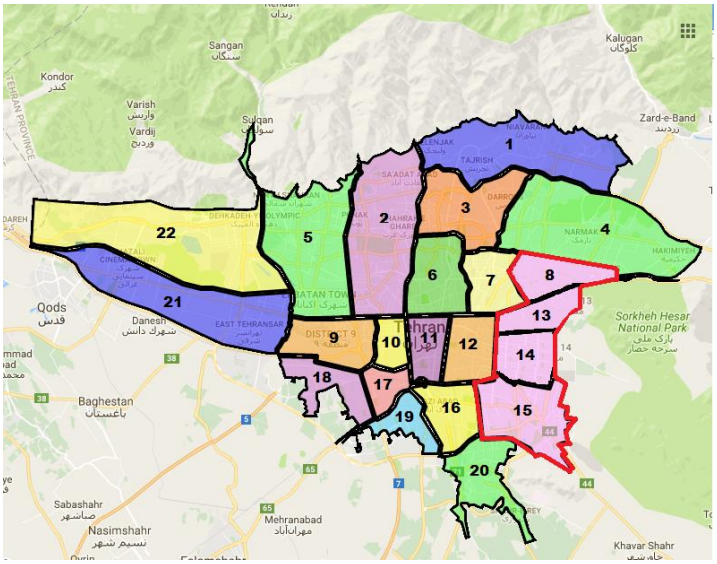
جدول ۵. پارامترهای مهم

		زباله‌های بازیافتی	زباله‌های کمپوستی
میانگین قیمت‌های پیشنهادی شرکت‌ها برای شرکت در مزایده	منطقه ۱۳	۱۲ میلیون تومان	۸ میلیون تومان
	منطقه ۱۴	۳۶ میلیون تومان	۲۵ میلیون تومان
	منطقه ۱۵	۵۵۰ میلیون تومان	۴۳۰ میلیون تومان
میزان زباله تولیدی مناطق	منطقه ۱۳	۵۴۰۲۰ تُن	
	منطقه ۱۴	۱۱۲۰۵۵ تُن	
	منطقه ۱۵	۱۶۷۹۰۰ تُن	
هزینه‌های واحد پردازش	زباله‌های بازیافتی	۲۲۴ هزار تومان	
	زباله‌های کمپوستی	۶۳ هزار تومان	
	زباله‌های سوزاندنی	۱۱۸ هزار تومان	
	زباله‌های دفن شدنی	۳۰ هزار تومان	

مقایسه‌ی مدل در دو حالت مختلف برای قیمت خرید: همان‌طور که در جدول ۶، قابل‌مشاهده است، در نظر گرفتن قیمت خرید زباله از مناطق تولیدکننده‌ی زباله می‌تواند در تصمیم‌گیری بهینه و درنتیجه رسیدن به سود بالاتر سازمان را یاری دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. مناطق شهری تهران

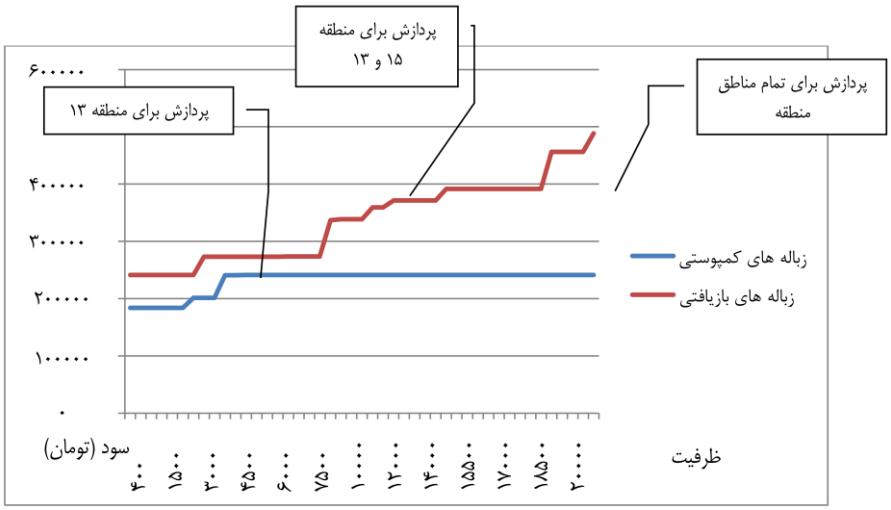
جدول ۶. مقایسه مدل در دو حالت مختلف برای قیمت خرید

قیمت خرید زباله از شهروندان	سود نهایی	سیاست‌های برون‌سپاری
متغیر تصمیم	۲۴ میلیارد تومان	برون‌سپاری همه زباله‌های بازیافتی و برون‌سپاری زباله‌های کمپوستی منطقه ۱۵
پارامتر (یک عدد ثابت)	۱ میلیارد تومان	برون‌سپاری تمامی زباله‌های کمپوستی و بازیافتی مناطق

تحلیل حساسیت بر چند پارامتر مهم ظرفیت: تغییرات این پارامتر را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. برای زباله‌های سوزاندنی و دفن‌شدنی که برون‌سپاری نمی‌شود، افزایش ظرفیت به کاهش تعداد تسهیلات لازم منجر می‌شود و سود افزایش می‌یابد. در ارتباط با زباله‌های کمپوستی و بازیافتی، بر اساس نمودار شکل ۲، افزایش ظرفیت برای زباله‌های کمپوستی تغییری در تصمیم نهایی ندارد و درنهایت زباله‌های منطقه ۱۵ برون‌سپاری خواهند شد؛ اما کاهش ظرفیت آن موجب افزایش تعداد تسهیلات لازم می‌شود و درنتیجه سود کاهش می‌یابد؛ اما در ارتباط با زباله‌های بازیافتی افزایش ظرفیت کارخانه‌های بازیافتی باعث می‌شود، برون‌سپاری مناطق متوقف شده و تا جایی که ممکن است پردازش توسط خود شهرداری انجام می‌گیرد و سود نیز افزایش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. نمودار تغییرات مدل با تغییرات ظرفیت

جدول ۷. مقادیر شبیه‌سازی‌شده برای ظرفیت مراکز بازیافت و کمپوست

ظرفیت مراکز بازیافت	سود نهایی	تصمیم‌های برون‌سپاری	ظرفیت مراکز کمپوست	سود نهایی	تصمیم‌های برون‌سپاری
۵۲۷	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۱۰۲۱۱	۱.۸۳×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه‌ی مناطق
۸۱۵	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۱۶۲۵۹	۱.۸۳×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق
۹۴۸	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۱۸۳۰۶	۲.۰۲×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳
۱۲۲۸	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۲۰۱۳۰	۲.۰۲×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳
۱۳۶۲	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۲۴۶۲۷	۲.۰۲×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳
۱۴۵۲	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۲۹۰۵۴	۲.۰۲×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳
۱۷۷۰	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۳۲۸۹۴	۲.۰۲×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳
۱۹۴۳	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۳۸۹۰۵	۲.۲۲×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳
۲۰۰۶	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۴۳۶۹۱	۲.۲۲×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳
۲۶۴۸	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۵۱۱۲۶	۲.۴۰×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳و ۱۴

www.SID.ir

Archive of SID

۲۶۹۸	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۶۱۰۲۴	۲.۴۰×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳ و ۱۴
۲۷۱۴	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۷۵۸۰۰	۲.۴۰×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳ و ۱۴
۳۲۰۶	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۱۰۵۲۳۶	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳ و ۱۴
۳۳۱۱	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۱۵۲۶۸۱	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳ و ۱۴
۳۴۳۵	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	برون‌سپاری همه مناطق	۱۹۰۱۵۰	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه۱۳ و ۱۴
۳۵۳۷	۲.۷۲×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳	۲۳۰۷۴۵	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه۱۳ و ۱۴
۴۰۰۳	۲.۷۳×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳	۳۹۴۹۰	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳ و ۱۴
۴۰۹۰	۲.۷۳×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳	۴۲۰۰۱۲	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳ و ۱۴
۴۱۸۷	۲.۷۳×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳	۴۸۰۲۵۶	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳ و ۱۴
۴۴۶۰	۲.۷۳×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳	۵۴۹۸۸۱	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	عدم‌برون‌سپاری منطقه ۱۳ و ۱۴

www.SID.ir

Archive of SID

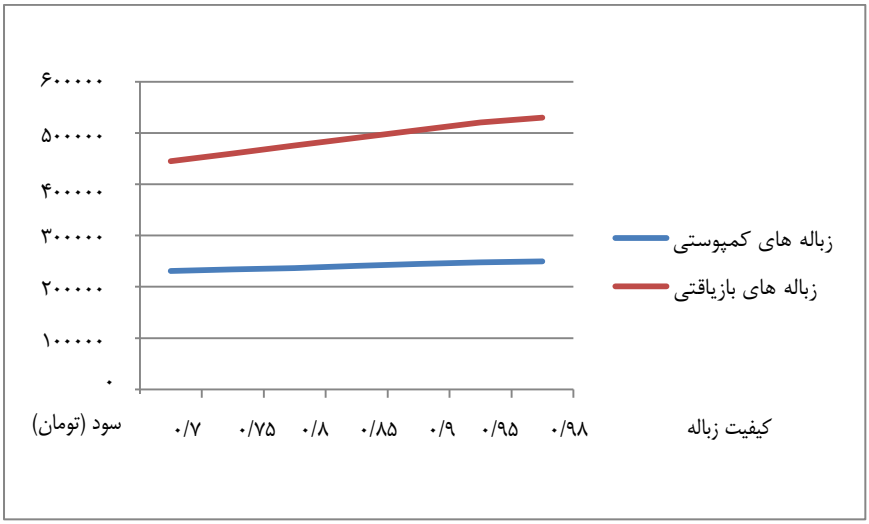
جدول ۸. مقادیر شبیه‌سازی‌شده برای ظرفیت مراکز سوزاندن و دفن

ظرفیت مراکز سوزاندن	سود نهایی	تعداد تسهیلات	ظرفیت مراکز دفن	سود نهایی	تعداد تسهیلات
۴۵۶۳۷	مسئله جواب ندارد	ــــــــ	۲۱۴۲۴	مسئله جواب ندارد	ــــــــ
۵۰۴۸۴			۲۷۵۰۶	مسئله جواب ندارد	ــــــــ
۵۱۱۹۹			۲۹۴۲۴		
۶۳۰۲۱			۳۴۶۹۱		
۷۰۶۳۲			۳۵۱۰۵		
۷۴۶۲۲۴	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	۲ تسهیل	۳۵۴۹۳		
۸۱۰۳۲			۳۶۹۲۴		
۸۵۹۸۰			۳۹۳۷۰		
۹۲۳۰۶			۴۰۰۹۱	۲.۳۶×۱۰^{۱۰}	۲ تسهیل
۹۴۶۵۴			۴۲۹۷۸		
۹۵۷۱۴			۴۳۷۳۳		
۹۸۰۶۲			۴۵۷۴۲		
۱۰۵۶۹۴			۴۶۵۱۶		
۱۱۰۰۹۸			۴۹۱۵۳		
۱۱۹۸۲۰	۲.۵۸×۱۰^{۱۰}	۱ تسهیل	۵۳۱۵۶		
۱۲۵۰۴۳			۵۷۴۶۵		
۱۲۸۰۰۶			۶۳۹۴۰		
۱۳۲۶۴۸			۶۸۶۰۱		
۱۳۹۹۸۵			۷۰۵۸۱	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	۱ تسهیل
۱۴۵۶۰۳			۷۲۶۴۵		

کیفیت زباله. کیفیت زباله بازگشتی یکی از عوامل مهم تأثیرگذار در سود است؛ بنابراین با بهبود کیفیت اولیه محصولاتی که بعد از استفاده به چرخه بازیافت و پردازش برمی‌گردند می‌توان ارزش‌افزوده بیشتری تولید کرد. با ملزم‌کردن کارخانه‌ها برای رعایت استانداردها که درنهایت به تولید با کیفیت بهتر منجر می‌شود می‌توان کیفیت زباله‌های نهایی را نیز بهبود داد. در حال حاضر تنها ۷۰ درصد از زباله‌های بازیافتی و ۸۵ درصد از زباله‌های کمپوستی قابل‌استفاده برای پردازش هستند. همان‌طور که در نمودار ۳، مشخص است با افزایش کیفیت زباله‌های نهایی سودآوری با شیب مطلوبی افزایش می‌یابد؛ به‌خصوص در ارتباط با زباله‌های بازیافتی شیب نمودار بیشتر است که اهمیت کیفیت زباله‌های بازیافتی را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. روند تغییرات سود بر اساس بهبود کیفیت زباله‌ها

جدول ۹. مقادیر شبیه‌سازی‌شده برای درصد قابل بازیابی زباله‌ها

درصد قابل بازیافت زباله	سود نهایی	درصد قابل کمپوست زباله	سود نهایی	درصد قابل سوزاندن زباله	سود نهایی
۵۲	۲.۶۰×۱۰^{۱۰}	۵۱	۲.۷۶×۱۰^{۱۰}	۵۰	۱.۵۶×۱۰^{۱۰}
۵۵	۲.۶۱×۱۰^{۱۰}	۵۵	۲.۸۱×۱۰^{۱۰}	۵۱	۱.۵۸×۱۰^{۱۰}
۵۹	۲.۶۲×۱۰^{۱۰}	۵۹	۲.۸۷×۱۰^{۱۰}	۵۵	۱.۶۷×۱۰^{۱۰}
۶۲	۲.۶۴×۱۰^{۱۰}	۶۲	۲.۹۱×۱۰^{۱۰}	۵۶	۱.۶۹×۱۰^{۱۰}
۶۸	۲.۶۶×۱۰^{۱۰}	۶۴	۲.۹۴×۱۰^{۱۰}	۶۰	۱.۷۸×۱۰^{۱۰}
۷۰	۲.۶۷×۱۰^{۱۰}	۶۶	۲.۹۶×۱۰^{۱۰}	۶۶	۱.۹۲×۱۰^{۱۰}
۷۲	۲.۶۸×۱۰^{۱۰}	۶۷	۲.۹۸×۱۰^{۱۰}	۷۰	۲.۰۱×۱۰^{۱۰}
۷۳	۲.۶۸×۱۰^{۱۰}	۷۰	۳.۰۲×۱۰^{۱۰}	۷۴	۲.۱۰×۱۰^{۱۰}
۷۴	۲.۶۸×۱۰^{۱۰}	۷۲	۳.۰۵×۱۰^{۱۰}	۷۵	۲.۱۲×۱۰^{۱۰}
۷۷	۲.۶۹×۱۰^{۱۰}	۷۸	۳.۱۳×۱۰^{۱۰}	۷۶	۲.۱۵×۱۰^{۱۰}
۸۰	۲.۷۱×۱۰^{۱۰}	۸۰	۳.۱۶×۱۰^{۱۰}	۸۰	۲.۲۴×۱۰^{۱۰}
۸۲	۲.۷۱×۱۰^{۱۰}	۸۱	۳.۱۷×۱۰^{۱۰}	۸۳	۲.۳۰×۱۰^{۱۰}
۸۳	۲.۷۲×۱۰^{۱۰}	۸۳	۳.۲۰×۱۰^{۱۰}	۸۷	۲.۳۹×۱۰^{۱۰}

www.SID.ir

Archive of SID

۸۴	۲.۷۲×۱۰^{۱۰}	۸۵	۳.۲۲×۱۰^{۱۰}	۸۹	۲.۴۴×۱۰^{۱۰}
۹۲	۲.۷۵×۱۰^{۱۰}	۸۶	۳.۲۴×۱۰^{۱۰}	۹۰	۲.۴۶×۱۰^{۱۰}
۹۵	۲.۷۶×۱۰^{۱۰}	۸۹	۳.۲۸×۱۰^{۱۰}	۹۳	۲.۵۳×۱۰^{۱۰}
۹۷	۲.۷۷×۱۰^{۱۰}	۹۲	۳.۳۲×۱۰^{۱۰}	۹۵	۲.۵۷×۱۰^{۱۰}
۹۸	۲.۷۸×۱۰^{۱۰}	۹۵	۳.۳۶×۱۰^{۱۰}	۹۷	۲.۶۲×۱۰^{۱۰}
۹۹	۲.۷۸×۱۰^{۱۰}	۹۷	۳.۳۹×۱۰^{۱۰}	۹۸	۲.۶۴×۱۰^{۱۰}
۱۰۰	۲.۷۸×۱۰^{۱۰}	۱۰۰	۳.۴۳×۱۰^{۱۰}	۱۰۰	۲.۶۹×۱۰^{۱۰}

سیاست‌های برون‌سپاری و عدم‌برون‌سپاری. در ارتباط با زباله‌های بازیافتی ازآنجاکه تنوع این دسته از زباله‌ها بالا است، مدیریت و پردازش یکپارچه گاهی می‌تواند دشوار و پیچیده باشد. علی‌رغم اینکه درصد بالایی از زباله‌های بازیافتی شهری را موادی چون کاغذ، پلاستیک، آهن و غیره تشکیل می‌دهند؛ اما درصدی از آن‌ها زباله‌های خاصی هستند که نیاز به تجهیزات خاص دارند؛ ازاین‌رو باید تلفیقی از این دو سیاست برگزیده شود تا در هر زمان تصمیم‌گیری بهینه باشد. طبق جدول ۱۰، سود نهایی در حالت سوم که هر دو گزینه برون‌سپاری و عدم‌برون‌سپاری موجود است، بیشترین مقدار خود را دارد؛ بنابراین توصیه می‌شود برای زباله‌های کمپوستی که تولید آن کمتر به تجهیزات پیشرفته نیاز دارد، عملیات پردازش توسط سازمان انجام شود و در ارتباط با زباله‌های بازیافتی با توجه به حجم و نوع زباله‌های دریافتی در ارتباط با برون‌سپاری و عدم‌برون‌سپاری آن‌ها تصمیم‌گیری شود. چنانچه درصد بالایی از زباله‌های بازیافتی را زباله‌های خاص تشکیل دهند، برون‌سپاری بازیافت آن‌ها می‌تواند سیاست بهتری باشد. اگر تنوع زباله‌های بازیافتی زیاد باشد نیز انتخاب این سیاست منجر به سود بیشتری خواهد شد؛ درحالی‌که اگر زباله‌های بازیافتی در یک منطقه تنوع کمی داشته باشند و اغلب به فناوری خاصی برای پردازش نیاز ندارند و انجام عملیات پردازش توسط خود سازمان می‌تواند مقرون‌به‌صرفه‌تر باشد؛ درنهایت تلفیق این دو سیاست سودآورتر خواهد بود.

جدول۱۰. مقایسه سیاست‌های مختلف و تأثیر آن بر سود

گزینه‌های تصمیم‌گیری	سود نهایی
فقط برون‌سپاری	۱/۸۳۹۹۵ E +۱۰
فقط پردازش توسط خود سازمان	با ظرفیت‌های فعلی امکان‌پذیر نیست
تلفیقی از هر دو سیاست	۲/۴۱۰۳۹ E + ۱۰

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی تغییرات هزینه‌ها. مقادیر شبیه‌سازی‌شده برای هزینه‌های پردازش زباله‌ها در جدول‌های ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است.

جدول ۱۱. مقادیر شبیه‌سازی‌شده برای هزینه‌های پردازش زباله‌های بازیافتی و کمپوستی

هزینه‌ی پردازش زباله‌های بازیافتی	سود نهایی	هزینه پردازش زباله‌های کمپوستی	سود نهایی
۱۳۹۸۶۲	۲.۷۸×۱۰^{۱۰}	۴۱۸۲۶	۲.۵۹×۱۰^{۱۰}
۱۴۸۷۸۸	۲.۷۷×۱۰^{۱۰}	۴۴۶۷۱	۲.۵۶×۱۰^{۱۰}
۱۶۴۵۸۱	۲.۷۶×۱۰^{۱۰}	۴۷۵۹۳	۲.۵۴×۱۰^{۱۰}
۲۲۷۳۶۳	۲.۷۲×۱۰^{۱۰}	۵۲۲۷۰	۲.۵۰×۱۰^{۱۰}
۲۳۲۴۱۸	۲.۷۲×۱۰^{۱۰}	۵۳۶۸۳	۲.۴۹×۱۰^{۱۰}
۲۹۶۹۶۳	۲.۶۸×۱۰^{۱۰}	۵۳۹۳۰	۲.۴۸×۱۰^{۱۰}
۳۷۵۱۴۷	۲.۶۳×۱۰^{۱۰}	۵۴۶۹۰	۲.۴۸×۱۰^{۱۰}
۴۰۶۱۷۰	۲.۶۲×۱۰^{۱۰}	۵۸۴۹۰	۲.۴۴×۱۰^{۱۰}
۴۴۱۶۷۴	۲.۶۳×۱۰^{۱۰}	۶۱۱۹۲	۲.۴۲×۱۰^{۱۰}
۴۹۷۶۸۵	۲.۵۹×۱۰^{۱۰}	۶۲۰۳۱	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}
۵۱۸۸۹۰	۲.۵۵×۱۰^{۱۰}	۶۴۱۱۱	۲.۴۰×۱۰^{۱۰}
۵۳۶۵۲۰	۲.۵۴×۱۰^{۱۰}	۶۴۶۶۳	۲.۳۹×۱۰^{۱۰}
۵۵۹۳۶۹	۲.۵۲×۱۰^{۱۰}	۶۷۰۴۳	۲.۳۷×۱۰^{۱۰}
۵۷۰۰۶۱	۲.۵۲×۱۰^{۱۰}	۶۸۳۸۸	۲.۳۶×۱۰^{۱۰}
۶۰۱۳۱۰	۲.۵۰×۱۰^{۱۰}	۷۳۳۹۶	۲.۳۲×۱۰^{۱۰}
۶۲۲۰۷۲	۲.۴۹×۱۰^{۱۰}	۸۰۳۸۴	۲.۲۶×۱۰^{۱۰}
۶۳۴۲۴۰	۲.۴۸×۱۰^{۱۰}	۸۰۸۲۳	۲.۲۵×۱۰^{۱۰}
۷۱۲۶۲۱	۲.۴۳×۱۰^{۱۰}	۸۱۶۱۳	۲.۲۵×۱۰^{۱۰}
۷۳۴۳۱۹	۲.۴۲×۱۰^{۱۰}	۸۳۱۲۰	۲.۲۳×۱۰^{۱۰}
۷۵۲۶۵۲	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}	۸۸۳۳۵	۲.۱۹×۱۰^{۱۰}

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۲. مقادیر شبیه‌سازی‌شده برای هزینه‌های پردازش زباله‌های سوزاندنی و دفن‌شدنی

هزینه‌ی پردازش زباله‌های سوزاندنی	سود نهایی	هزینه پردازش زباله‌های دفن‌شدنی	سود نهایی
۹۳۹۰۰	۲.۶۳×۱۰^{۱۰}	۱۵۹۴۵	۲.۴۹×۱۰^{۱۰}
۹۶۰۵۵	۲.۶۱×۱۰^{۱۰}	۱۹۸۹۵	۲.۴۷×۱۰^{۱۰}
۹۸۵۵۶	۲.۵۸×۱۰^{۱۰}	۲۰۹۳۸	۲.۴۶×۱۰^{۱۰}
۱۰۲۴۲۱	۲.۵۵×۱۰^{۱۰}	۲۱۰۴۰	۲.۴۶×۱۰^{۱۰}
۱۰۳۴۴۸	۲.۵۴×۱۰^{۱۰}	۲۳۰۲۵	۲.۴۵×۱۰^{۱۰}
۱۰۶۹۲۱	۲.۵۰×۱۰^{۱۰}	۲۴۴۲۰	۲.۴۴×۱۰^{۱۰}
۱۰۶۹۶۸	۲.۵۰×۱۰^{۱۰}	۲۵۵۲۰	۲.۴۴×۱۰^{۱۰}
۱۰۸۹۶۰	۲.۴۸×۱۰^{۱۰}	۲۶۱۶۷	۲.۴۳×۱۰^{۱۰}
۱۱۲۵۰۲	۲.۴۵×۱۰^{۱۰}	۲۸۴۲۴	۲.۴۲×۱۰^{۱۰}
۱۱۳۰۴۴	۲.۴۵×۱۰^{۱۰}	۳۰۴۱۶	۲.۴۱×۱۰^{۱۰}
۱۱۸۳۶۰	۲.۳۹×۱۰^{۱۰}	۳۲۷۳۷	۲.۴۰×۱۰^{۱۰}
۱۱۹۳۷۷	۲.۳۹×۱۰^{۱۰}	۳۴۵۰۰	۲.۳۹×۱۰^{۱۰}
۱۲۲۶۴۱	۲.۳۵×۱۰^{۱۰}	۳۷۶۶۱	۲.۳۷×۱۰^{۱۰}
۱۲۴۳۹۹	۲.۳۴×۱۰^{۱۰}	۳۹۶۵۹	۲.۳۶×۱۰^{۱۰}
۱۳۱۸۳۳	۲.۲۷×۱۰^{۱۰}	۳۹۹۴۹	۲.۳۵×۱۰^{۱۰}
۱۳۳۱۹۵	۲.۲۵×۱۰^{۱۰}	۴۱۸۲۳	۲.۳۴×۱۰^{۱۰}
۱۳۵۱۲۳	۲.۲۴×۱۰^{۱۰}	۴۲۵۴۳	۲.۳۴×۱۰^{۱۰}
۱۳۶۶۷۷	۲.۲۲×۱۰^{۱۰}	۴۳۰۶۳	۲.۳۴×۱۰^{۱۰}
۱۳۷۳۶۲	۲.۲۱×۱۰^{۱۰}	۴۳۸۶۶	۲.۳۳×۱۰^{۱۰}
۱۳۷۴۵۳	۲.۲۱×۱۰^{۱۰}	۴۴۹۷۴	۲.۳۳×۱۰^{۱۰}

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی چندمحصولی به‌منظور بیشینه‌سازی سود هر دو سطح به‌صورت همزمان، ارائه شد. در پژوهش حاضر در سطح اول شهرداری به‌عنوان رهبر در ارتباط با تأسیس مراکز پردازش، قیمت خرید زباله از مناطق تولید زباله، تخصیص زباله‌های

www.SID.ir

Archive of SID

دریافتی به مراکز پردازش و سیاست‌های برون‌سپاری و عدم‌برون‌سپاری تصمیم‌گیری می‌کند. برای تعیین این سیاست شهرداری به برگزاری مزایده می‌پردازد و شرکت‌های شرکت‌کننده در مزایده در سطح دوم مدل به‌عنوان پیرو در ارتباط با قیمت پیشنهادی برای شرکت در مزایده تصمیم می‌گیرند.

از ویژگی‌های بارز مدل پیشنهادی، درنظرگرفتن قیمت خرید زباله به‌عنوان متغیر تصمیم است که تأثیر زیادی در بهبود سود نهایی دارد؛ همچنین با استفاده از نظریه‌ی بازی‌ها شرکت‌های شرکت‌کننده در مزایده با هم رقابت می‌کنند. نوع بازی درنظرگرفته‌شده در این مدل، «بازی استکلبرگ» است. برای حل و تبدیل مدل دوسطحی به یک‌سطحی از روش K.K.T استفاده شد که در مبانی نظری در موارد مشابه به‌طور وسیعی از آن استفاده شده است. در پایان از طریق نتایج محاسباتی کارایی مدل پیشنهادی و کیفیت بالای عملکرد و کاربردی‌بودن مدل نمایش داده شد. بدین منظور مدل در حالت‌های مختلف موردتحلیل و بررسی قرار گرفت. در حالتی که قیمت خرید یک پارامتر است و مقداری ثابت دارد و مقایسه آن با حالت فعلی که قیمت یک متغیر تصمیم است؛ همچنین مدل با درنظرگرفتن سیاست‌های مختلف برون‌سپاری با هم مقایسه شده است. نتایج مقایسه مدل‌ها حاکی از آن بود که درنظرگرفتن قیمت خرید زباله به‌عنوان یک متغیر تصمیم، موجب می‌شود سود نهایی افزایش یابد. بررسی نتایج مدل‌ها نشان می‌دهد سیاست‌های برون‌سپاری تأثیر زیادی در سود نهایی دارند و بهترین حالت زمانی روی می‌دهد که دو سیاست برون‌سپاری و عدم‌برون‌سپاری با یکدیگر تلفیق شوند. کیفیت زباله‌های جمع‌آوری‌شده نیز می‌تواند یک عامل کلیدی باشد. افزایش ظرفیت در بخش زباله‌های کمپوستی درنهایت به عدم‌برون‌سپاری کلیه‌ی این زباله‌ها منجر می‌شود؛ بنابراین می‌توان موارد زیر را به‌عنوان مسیرهای پیشنهادی برای پژوهش‌های آینده ارائه کرد:

ـ بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، کیفیت زباله‌ها در سود نهایی تأثیر زیادی دارد؛ ضمن اینکه اگر درصد بالایی از زباله‌ها قابل‌پردازش باشد، مقدار کمتری از آن دفن خواهد شد؛ بنابراین علاوه بر سودآوری بیشتر به محیط‌زیست نیز آسیب کمتری می‌رسد؛ از این‌رو پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی هزینه‌ای که باید صرف شود تا کیفیت محصولاتی که قرار است به زباله تبدیل شود بهبود یابد در نظر گرفته شده و حالت کیفیت بهینه با درنظرگرفتن هزینه تولید و سود ناشی از بازیافت تعیین شو؛

ـ با توجه به اهمیت کیفیت زباله‌ها می‌توان این عامل را غیرقطعی در نظر گرفت؛ زیرا در دنیای واقعی نمی‌توان دقیق پیش‌بینی کرد زباله‌های جمع‌آوری‌شده از چه کیفیتی برخوردار هستند. این عامل علاوه بر تأثیرگذاری بر تصمیم شهرداری، قطعاً بر تصمیم‌گیری شرکت‌های شرکت‌کننده در مزایده نیز تأثیرگذار خواهد بود؛

www.SID.ir

Archive of SID

ـ بخشی از زباله‌های بازیافتی و کمپوستی که قابل‌پردازش نیستند برای سوزاندن به نیروگاه‌های زباله‌سوزی ارسال می‌شوند، بنابراین بین این مراکز نیز تبادل زباله انجام می‌شود که در این مدل در نظر گرفته نشده است؛ ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود در مدل‌های آتی این تبادلات نیز لحاظ شود؛
ـ در دنیای امروزی وقوع اختلالات می‌تواند سازمان‌ها را با ضررهای بزرگی مواجه سازد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در مدل‌های آتی مدل با درنظرگرفتن اختلال مدل‌سازی شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1. Achillas, D.A., Vlachokostas, CH., Moussiopoulosc, N., Banias, G., & Triantafillou, D. (2012). A multi-objective decision-making model to select waste electrical and electronic equipment transportation media. *Resources, Conservation and Recycling, 66,* 76-84.

2. Allende, G. B., & Still, G. (2013). Solving bi-level programs with the KKT-approach. *Mathematical programming, 138(1-2),* 309-332.

3. Asefi, S.L., & Lim, S. (2015). A mathematical model for the municipal solid waste location-routing problem with intermediate transfer stations. *Australasian Journal of Information Systems, 19,* 21-35.

4. Bautista, J., & Pereira, J. (2006). Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management. An application to the metropolitan area of Barcelona. *Omega, 34,* 617–629.

5. Berglund, P. G., & Kwon, C. (2014). Robust facility location problem for hazardous waste transportation. *Networks and Spatial Economics, 14(1),* 91-116.

6. Bocken, N., Short, S., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production, 65,* 42-56.

7. Buhrkal, A.L., & Ropke, S. (2012). The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics context. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 39,* 241-254.

8. Das, A.H.C. (2011). Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning. *Int. J. Production Economics, 135,* 209-221.

9. Deng, L.M., Tian, F., & Cai, J. (2011). An Optimal Model and Its Algorithm for Multi-echelon MSW Recycling Network Design . 24-25 Sept. 2011, (pp 254-259) Computer Engineering and Management Sciences (ICM), 2011 International Conference.

10. Eiselt, V.M. (2013). A bi-objective model for the location of landfills for municipal solid waste. *European Journal of Operational Research, 235,* 187-194.

11. Erkut, E., & Neuman, S. (2003). Analytical models for locating undesirable facilities. *European Journal of Operational Research, 40,* 275-291.

12. Ezequiel, J., Ponce-Ortega. J., Betzabe González-Campos, J., Serna-Gonzáleza, M., & El-Halwagi, M. (2013). Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste. *Waste Management, 33,* 2607-2622.

13. Ezequiel, J., Ponce-Ortega. J., Betzabe González-Campos, J., Serna-Gonzáleza, M., & El-Halwagi, M. (2014). Optimal Planning of Supply Chains for Multi-Product Generation from Municipal Solid Waste. *Chemical engineering transaction, 42,* 55-60.

14. Faccioa, M., Persona, A., & Zanin, G. (2011). Waste collection multi objective model with real time traceability data. *Waste Management, 31,* 2391-2405.

15. Ghiani, G., Laganà, D., Manni, E., & Triki, C. (2012). Capacitated location of collection sites in an urban waste management system. *Waste management, 32(7),* 1291-1296.

16. Ghiani, G., Manni, A., Manni, E., & Toraldo, M. (2014). The impact of an efficient collection sites location on the zoning phase in municipal solid waste management. *Waste Management, 34(11),* 1949-1956.

www.SID.ir

Archive of SID

17. Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste management, 29(8),* 2227-2239.

18. Gupta, A., & Sharma, D. C. (2011). Integer programming model for integrated planning of solid waste management in Jaipur. *International Journal of Scientific & Engineering Research, 2(3),* 115-124.

19. Lee, C. K. M., Yeung, C. L., Xiong, Z. R., & Chung, S. H. (2016). A mathematical model for municipal solid waste management–A case study in Hong Kong. Waste Management.

20. Mavrotas, G., Gakis, N., Skoulaxinou, S., Katsouros, V., & Georgopoulou, E. (2015). Municipal solid waste management and energy production: Consideration of external cost through multi-objective optimization and its effect on waste-to-energy solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51,* 1205-1222.

21. Ng, W. P. Q., Lam, H. L., Varbanov, P. S., & Klemeš, J. J. (2014). Waste-to-energy (WTE) network synthesis for municipal solid waste (MSW). *Energy Conversion and Management, 85,* 866-874.

22. Peltola, T., Aarikka-Stenroos, L., Viana, E., & Mäkinen, S. (2016). Value capture in business ecosystems for municipal solid waste management: Comparison between two local environments. *Journal of Cleaner Production, 137,* 1270-1279.

23. Rasouli, R., Zamaheni, M., & Jamshidi, A. (2012). Forecasting Model Designing of Economic Firm's Performance in Competitive Environment. *Journal of Industrial Management Perspective, 2(7),* 29-44 (In Persian).

24. Sadjadi, S. J., Soltani, R., & Eskandarpour, A. (2014). Location based treatment activities for end of life products network design under uncertainty by a robust multi-objective memetic-based heuristic approach. *Applied Soft Computing, 23,* 215-226.

25. Samanlioglu, F. (2013). A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem. *European Journal of Operational Research, 226(2),* 332-340.

26. Sodhi, M. S., & Reimer, B. (2001). Models for recycling electronics end-of-life products. *OR-Spektrum, 23(1),* 97-115.

27. Soltanian Telkabadi, H., Mohaghar, A., & Sadeghimoghadam, M. R. (2016). Pricing-Policy Analysis of Petrochemical Feed-Stock through Dynamic Systems Approach. *Journal of Industrial Management, 5(20),* 59-78 (In Persian).

28. Taleizadeh, A., & Mohammadi, R. (2015). Optimizing the Selling Price and Advertising Cost in a Two Layers Supply ChainIncluding a Manufacturer and Two Retailers. *Journal of Industrial Management Perspective, 5(18),* 107-127 (In Persian).

29. Tavares, G., Zsigraiová, Z., & Semiao, V. (2011). Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. *Waste management, 31(9),* 1960-1972.

30. Vadenbo, C., Hellweg, S., & Guillén-Gosálbez, G. (2014). Multi-objective optimization of waste and resource management in industrial networks–Part I: Model description. *Resources, Conservation and Recycling, 89,* 52-63.

31. Vahdani, B., & Naderi-Beni, M. (2014). A mathematical programming model for recycling network design under uncertainty: an interval-stochastic robust optimization model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 73(5-8),* 1057-1071.

www.SID.ir

Archive of SID

32. Von Stackelberg, H. (1954). Marktform and Gleichgewicht Springer-Verlag, Berlin, 1934. engl. transl.: The Theory of the Market Economy.

33. Wu, C. B., Huang, G. H., Li, W., Xie, Y. L., & Xu, Y. (2015). Multistage stochastic inexact chance-constraint programming for an integrated biomass-municipal solid waste power supply management under uncertainty. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41*, 1244-1254.

34. Xie, Y., Lu, W., Wang, W., & Quadrifoglio, L. (2012). A multimodal location and routing model for hazardous materials transportation. *Journal of hazardous materials, 227*, 135-141.

35. Xu, Y., Huang, G. H., Cheng, G. H., Liu, Y., & Li, Y. F. (2014). A two-stage fuzzy chance-constrained model for solid waste allocation planning. *Journal of Environmental Informatics, 24(2)*, 101-110.

36. Xue, W., Cao, K., & Li, W. (2015). Municipal solid waste collection optimization in Singapore. Applied Geography, 62, 182-190.

37. Ye, J. J. (2006). Non differentiable multiplier rules for optimization and bi-level optimization problems. SIAMJ. Optim. 15, 252274 (2004) 14. Ye, JJ: Constraint qualifications and KKT conditions for bi-level programming problems. *Math. Oper. Res*, *31*, 811-824.

38. Ye, L., Ye, C., & Chuang, Y. F. (2011). Location set covering for waste resource recycling centers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling, 55(11*), 979-985.

39. Zhang, X., & Huang, G. (2014). Municipal solid waste management planning considering greenhouse gas emission trading under fuzzy environment. *Journal of environmental management, 135*, 11-18.

40. Zhang, Y. M., Huang, G. H., & He, L. (2011). An inexact reverse logistics model for municipal solid waste management systems. *Journal of Environmental Management, 92(3)*, 522-530.

41. Zhang, Y., Huang, G. H., & He, L. (2014). A multi-echelon supply chain model for municipal solid waste management system. *Waste management, 34(2)*, 553-561.

www.SID.ir