علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره یک، فروردین ماه ۱۴۰۰

ارائه مدل بهینه برای سامانه مدیریت پسماند شهری با استفاده از الگوریتم ژنتیک مبتنی بر منطق فازی (مطالعه موردی : شهر تهران)

منیره آهنی[۱]

رضا ارجمندی[۲*]

hrezaarjmandi@gmail.com

حسن هویدی[۳]

جمال قدوسی[۲]

محمد رضا میری لواسانی[۲]

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۹

چکیده

زمینه و هدف : در سال های اخیر انواع مدل ها به منظور ارزیابی زیرسامانه های مدیریت پسماند شهر تهران و انتخاب گزینه برتر مدیریت پسماند مورد بررسی و استفاده قرار گرفته اند. ولی همچنان معضل دفع نهایی پسماند شهر تهران از مسایل مهم مرتبط با مدیریت محیط زیستی این کلان شهر می باشد. هدف از تحقیق حاضر ارایه یک مدل به منظور تخصیص مقادیر بهینه سالانه پسماند تهران به زیر سامانه های مدیریت پسماند در جهت رسیدن به بیش ترین بهره وری، کاهش هزینه و افزایش درآمد سامانه خواهد بود.

روش بررسی : ابتدا با مراجعه به مجتمع آرادکوه تهران و مصاحبه حضوری با کارشناسان و با استفاده از اطلاعات ثبت شده در مجتمع آرادکوه داده های مورد نیاز تحقیق جمع آوری گردید. سپس مدل پیشنهادی تحقیق به منظور تخصیص مقادیر بهینه سالانه پسماند با در نظرگرفتن تمامی قیود به ۵ زیرسامانه بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی، زباله سوز، دفن بهداشتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک مبتنی بر منطق فازی با هدف کاهش هزینه کل سامانه مدیریت پسماند شهری در محیط متلب اجرا و نتایج آن تجزیه و تحلیل شد .

یافته ها: نتایج قابل توجه تحقیق حاضر نشان داد با افزایش میزان ظرفیت زیر سامانه های دارای هزینه کمتر و سودآوری بیش تر، سامانه الزاما به سمت بهینه تر شدن میل نخواهد کرد و مقادیر پسماند تخصیص داده شده به میزان ۷۵۰۰۰۰، ۹۶۰۰۰۰، ۱۸۲۰۰۰، ۳۲۵۰۰۰،

۱- دکتری مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- دانشیار، گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران *(مسئول مکاتبات).

۳- استادیار، گروه مدیریت، برنامه ریزی و آموزش محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۷۸۰۰۰۰ تن در سال به زیر سامانه های بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی، زباله سوز و دفن بهداشتی به ترتیب به عنوان بهینه ترین حالت برآورد شد.

بحث و نتیجه گیری : با توجه به نتایج مدل بهینه پیشنهادی تحقیق، لازم است جریان و روند تخصیص بهینه پسماند سالانه شهر تهران به زیر سامانه های بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی، زباله سوز و دفن بهداشتی با دقت بیش تری جهت افزایش بهره وری سالانه سامانه مدیریت پسماند شهر تهران دنبال شود .

واژه های کلیدی : الگوریتم ژنتیک، مدل بهینه، مدیریت پسماند شهری، منطق فازی، هزینه

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No.1, April, 2021

Providing Optimal Model for Municipal Solid Waste Management System Using Genetic Algorithm Based on Fuzzy Logic (Case Study: Tehran City)

Monireh Ahani [1]

Reza Arjmandi [2*]

hrezaarjmandi@gmail.com

Hassan Hoveidi [3]

Jamal Ghodousi [2]

Mohammad Reza Miri Lavasani [2]

Accepted: 2018.02.28 Received: 2017.08.14

Abstract

Background and Purpose: In recent years, a variety of models have been used to evaluate the waste management systems in Tehran in order to select the best waste management options. But the problem of the final disposal of waste in Tehran is still one of the issues related to the environmental management of the metropolis. The purpose of this study is to provide one model for allocating optimal annual quantities of waste to waste management subsystems of Tehran in order to achieve the highest efficiency, reduce costs and increase system revenue.

Materials and Methods: In this research, first by referring to the Arad Kooh complex in Tehran and interviewing with experts and using the information recorded in this complex, the required data was collected. Then, an optimal model proposed for allocating optimal annual amount of municipal waste with considering all of limitations to 5 sub-systems of recycling, aerobic compost, anaerobic digestion, incinerator , landfill using genetic algorithm improved by fuzzy logic with the aim of reducing the total cost of the municipal waste management system in the MATLAB environment and its results were analyzed.

Findings: The significant results showed with increasing capacity the subsystems with lower cost and more profitability, the system will not necessarily seek to be optimized and optimal amount of waste allocated to each of the subsystems such as recycling, aerobic compost, anaerobic digestion, incinerator and landfill were estimated about 750,000, 960000, 182000, 325000, 780000 tons in each year, respectively.

Discussion and Conclusion: According to the results of the optimal model proposed in this study, it is necessary to carefully follow the flow and optimal allocation of waste from the annual production of Tehran to each of the following subsystems: recycling, aerobic compost, anaerobic digestion, incinerator and landfill in order to achieve the high annual efficiency for municipal solid waste management system in Tehran city.

Keywords: Genetic Algorithm, Optimal Model, Municipal Solid Waste Management, Fuzzy Logic , Cost

1- Ph.D in Environmental Management, Department of Environment Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Department of Environment Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran *(Corresponding author).

3- Assistant Professor, Department of Environment Management, Planning and Education, Faculty of Environment, Tehran University, Tehran, Iran.

مقدمه

رشد جمعیت و روند سریع شهرنشینی چالش های بسیاری برای محیط زیست شهرهای بزرگ ایجاد کرده است . یکی از چالش ها، مدیریت پسماندهای شهری است. درسال های اخیر برآورد شده است که متوالیان شهری درکشورهای درحال توسعه ۵۰٪ میزان بودجه سالانه خود را به مدیریت پسماندهای شهری اختصاص می دهند، درحالی که این خدمات کم تر از ۵۰ درصد جمعیت این مناطق را پوشش می دهد (۱). یافتن راه حل مناسب به منظور مدیریت پسماندهای شهری تبدیل به یک چالش جهانی شده است. تولید پسماندهای شهری اجتناب ناپذیر است ، از طرفی دیگر تولید پسماند به دلیل افزایش سطح جمعیت درسراسر جهان طی ۵ دهه گذشته به سرعت درحال رشد است (۲). آلترناتیوهای مختلف به منظور مدیریت پسماندهای جامد شهری از جمله فن آوری تبدیل پسماند به انرژی، استفاده از زمین برای کمپوست پسماند ،کمپوست ورمی، هضم بی هوازی و دفن بهداشتی درحال حاضر در دسترس هستند(۴). اما با این حال بیش تر پسماندهای تولیدی به فضای باز درکشورهای درحال توسعه و درکشورهای توسعه یافته به مراکز دفن بهداشتی انتقال پیدا می کنند(۲). براین اساس همواره هدف محققان طراحی یک سامانه بهینه یکپارچه به منظور مدیریت پسماندهای جامد شهری است. اصطلاحات بهینه و یکپارچه معمولا به ترکیبی ازآلترناتیوهای پردازش و دفع پسماند جامد شهری مرتبط است که عموما هدف آن دست یابی به کم ترین هزینه در هنگام ترکیب آلترناتیوهای مختلف است (۵). در میان تکنیک های مختلف بهینه سازی ، الگوریتم ژنتیک ابزاری موثر وکارآمد برای محدوده گسترده ای از کاربردها از جمله بهینه سازی تابع هدف ، الگوی چند کلاسی ، زمان بندی و تصمیم گیری در نظر گرفته می شود (۶). الگوریتم ژنتیک یک تکنیک جستجوی ابتکاری است که راه حل های بهینه را با الهام از تکامل طبیعی از جمله وراثت ، جهش ، انتخاب و ادغام[1] برای مسایل غیر قطعی با پیچیدگی های زیاد تولید می کند. با توجه به این که تصمیم گیری در مسایل مدیریت پسماند شهری با عدم قعطیت و پیچیدگی همراه است، بنابراین استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت حل مسایل سامانه مدیریت پسماند شهری مناسب می باشد. با این حال یکی از مهم ترین نقاط ضعف الگوریتم ژنتیک درمسایل بهینه سازی این است که توانایی جستجو درالگوریتم ژنتیک به تنهایی همیشه بهینه نمی باشد و دلیل آن وجود پارامترهای ثابت از جمله نرخ ادغام و جهش درالگوریتم ژنتیک می باشد(۷). بر همین اساس به منظورافزایش راندمان الگوریتم ژنتیک تنظیم پویا پارامترهای آن حایز اهمیت می باشد. در مطالعات مختلفی از منطق فازی در جهت پویایی پارامترهای الگوریتم ژنتیک و در نتیجه ارتقاء کارآیی آن تا حد بالا استفاده گردیده است (۸،۹). برطبق بررسی های صورت گرفته تا قبل از انجام این تحقیق ، تاکنون مطالعه ای در ایران و دنیا با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبود یافته مبتنی بر منطق فازی در مدیریت پسماند شهری انجام نشده است. ولی مطالعات مشابه با استفاده از سایر تکنیک های بهینه سازی جهت حل مسایل سامانه های مدیریت پسماند شهری در سطح دنیا انجام گرفته است. درمطالعه ای که توسط جی و همکاران در سال ۲۰۱۸ درکشور چین به انجام رسیده است، یک مدل بهینه تحت عدم قطعیت بازه ای- تصادفی به منظور مدیریت پسماند شهری و کنترل انتشار گازهای گل خانه ای ارایه شد. ازالگوریتم های تعاملی دو مرحله ای برای حل مدل بهینه استفاده گردید و راه حل های مدل دارای

۱- Cross over

مزایای کاهش هزینه و کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی در مقایسه با وضعیت موجود سامانه مدیریت پسماند شهری است (۱۰). مطالعه ای توسط لی مه و همکاران در سال ۲۰۱۶ به منظور ارایه یک مدل بهینه برای شهر دارالسلام در کشور تانزانیا انجام گردیده است. مدل ارایه شده دارای اهداف۱-کمینه سازی هزینه ۲- کمینه سازی دفع نهایی پسماند به مراکز دفن بهداشتی ۳- کمینه سازی اثرات محیط زیستی است . در ابتدا مدل برای اهداف با اولویت بالا و سپس برای اهداف در اولویت های بعدی حل گردید و تا حل مساله این روند ادامه پیدا کرد. نتایج به دست آمده از این مدل بهترین مکان برای تاسیسات مختلف از جمله بازیافت، کمپوست هوازی، زباله سوز، دفن بهداشتی و تخصیص جریان پسماند شهری را بین تاسیسات مختلف نام برده شده نشان می دهد (۱۱). در مطالعه انجام شده توسط ماوروتاس و همکاران در سال ۲۰۱۵ یک مدل بهینه چند هدفه برای مدیریت پسماند شهری منطقه آتن در کشور یونان توسعه داده شد. معیار انتشار گازهای گل خانه ای و معیار اقتصادی به عنوان دو معیار بهینه سازی در این مدل در نظر گرفته شده است. بنابراین، مدل پیشنهادی نه تنها یک راه حل بهینه فراهم می کند، بلکه مجموعه ای از راه حل های بهینه پارتو است که از انتشار حداقل گازهای گل خانه ای با حداقل هزینه گسترش یافته است (۱۲). ازجمله مطالعات مشابه دیگر درسایر نقاط دنیا می توان به بادران و الهاجر (۲۰۰۶) درکشور مصر،مین چیاردی و همکاران (۲۰۰۸) درکشور ایتالیا، گالانته و همکاران (۲۰۱۰) درکشور ایتالیا، نوچه و همکاران (۲۰۱۰) درکشور آلمان، گو و هوانگ (۲۰۱۰) در کشور کانادا، کوچیه لاو همکاران (۲۰۱۴) درکشور ایتالیا، یو و همکاران (۲۰۱۵) اشاره کرد (۱۳-۱۹). درمجموع با توجه به نتایج مطالعات انجام شده و ذکر این نکته که شهر تهران به دلیل افزایش روز افزون میزان پسماند همگام با رشد جمعیت آن، نیازمند مدیریت سودمندو موثر پسماندها می باشدو شهرداری تهران اقدامات موثری را تاکنون دراین زمینه انجام داده است ولی همچنان معضل دفع نهایی پسماند تهران ازمهم ترین مسایل مدیریت محیط زیستی می باشد، لذا هدف از این تحقیق ارایه یک مدل بهینه با استفاده از الگوریتم هوشمند ژنتیک مبتنی برمنطق فازی به منظور تخصیص بهینه مقادیر سالانه پسماند تولیدی به زیرسامانه های پردازش و دفع با هدف رسیدن به بیش ترین بهره وری،کاهش هزینه کل سامانه و افزایش درآمد حاصله از آن خواهد بود.

روش بررسی

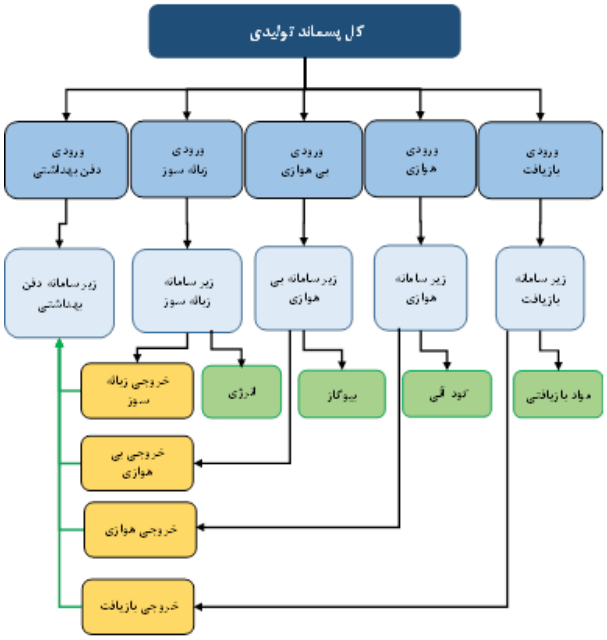
منطقه مورد مطالعه

شهر تهران، پایتخت کشور ایران با جمعیت حدود ۸ میلیون نفر و با وسعتی حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع بین ۳۵ درجه و ۳۱دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی قرار دارد. براساس آخرین تقسیم بندی شهری، شهر تهران به ۲۲ منطقه شهری تقسیم شده است که هر منطقه بر اساس وسعت خود، در بزرگ ترین مقیاس دارای ۱۳۹ کیلومتر مربع (منطقه ۴) و در کوچک ترین مقیاس دارای ۸/۰۷ کیلومترمربع (منطقه ۱۰) می باشد (۲۰). بر اساس آخرین آمار سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران، میانگین سالانه پسماندهای تولیدی شهر تهران بین سال های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۴ به ترتیب برابر ۲۷۸۸۹۱۱، ۲۹۷۹۵۹۲، ۲۹۷۳۱۸۵، ۲۹۸۷۲۷۱، ۳۰۶۳۳۳۶ و ۲۸۶۱۴۰۴ تن بوده است که مدیریت این حجم عظیم از پسماندها را شهرداری تهران برعهده دارد (۲۱). پسماند جامد شهری بیش از ۹۷ درصد پسماندهای جامد شهر تهران را تشکیل می دهد در حالی که حدود ۳ درصد از آن را سایر انواع پسماند از جمله پسماندهای بیمارستانی، صنعتی و نخاله ها تشکیل می دهد. سهم پسماند های خانگی از کل پسماند جامد شهری تولیدی تهران حدود ۷۳ درصد می باشد (۲۲). برای جمع آوری داده های مورد نیاز مربوط به ۵ زیر سامانه مدیریت پسماند شهر تهران از جمله بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی، زباله سوز، دفن بهداشتی از

اطلاعات ثبت شده در مجتمع آرادکوه، مصاحبه حضوری با کارشناسان و مسئولین امر در مجتمع آرادکوه و همچنین مطالعه اسناد، آمار و اطلاعات موجود درکتابخانه سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران استفاده شد.

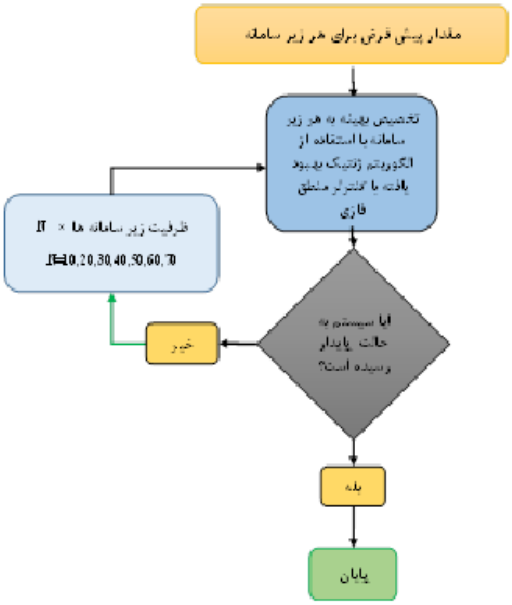
مدل پیشنهادی تحقیق

در این تحقیق زیر سامانه های دخیل در مدل و مرز سامانه مطابق با شکل ۱ در نظر گرفته شده است. شبکه جریان پسماند مطابق با شکل به سه بخش اصلی تقسیم می شود . بخش اول شامل منبع تولید است ، بخش دوم زیر سامانه های بازیافت (پردازش)، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی، زباله سوز و دفن بهداشتی است و بخش سوم مربوط به خروجی زیر سامانه هاست. هر یک از زیرسامانه های بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی و زباله سوز دارای مقادیر ورودی از منابع تولیدی و مقادیر خروجی به زیر سامانه دفن بهداشتی می باشند. زیر سامانه دفن بهداشتی علاوه بر مقادیر خروجی زیر سامانه های ذکر شده ، مقادیری از پسماند تولیدی را نیز به صورت مستقیم دریافت می نماید. فلوچارت انجام تحقیق در شکل ۲ خلاصه گردیده است.



شکل ۱ -مدل سامانه مدیریت پسماند شهری

Figure 1- Municipal waste management system model



شکل ۲- فلوچارت انجام تحقیق

Figure 2- Research flowchart

قیود مورد استفاده در مدل تحقیق

۱-مجموع میزان پسماند ورودی به ۵ زیر سامانه مدیریت پسماند شهری از جمله بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی، زباله سوز و سامانه دفن بهداشتی باید برابر با کل میزان پسماند تولیدی بر حسب تن در سال باشد .

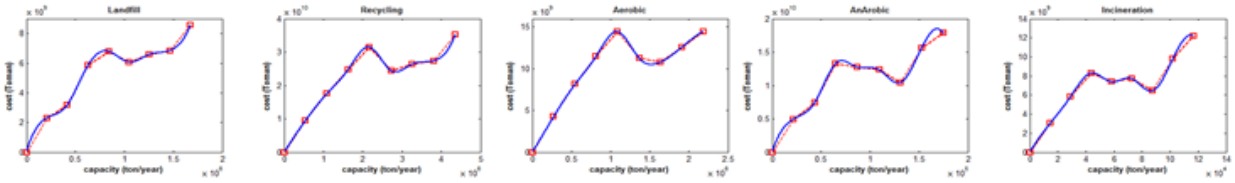
۲- ماکزیمم میزان پسماند ورودی به هر یک از ۴ زیر سامانه مدیریت پسماند شهری از جمله بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی و زباله سوز معادل ماکزیمم ظرفیت هر یک از زیرسامانه ها در نظر گرفته شده است.

۳-زیرسامانه دفن بهداشتی علاوه بر مقدار ورودی پسماند به این زیر سامانه، مقدار برگشتی هریک از ۴ زیر سامانه بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی و زباله سوز را نیز می پذیرد.

توابع محاسبه هزینه زیر سامانه ها

توابع هزینه مربوط به هر یک از ۵ زیر سامانه مدیریت پسماند

با نرخهای مختلف ورودی پسماند برحسب تن در سال با جمع آوری آمار و اطلاعات از سازمان مدیریت پسماند شهر تهران و با استفاده از آنالیز داده ها در محیط نرم افزار متلب به دست آمدند و در شکل ۳ نشان داده شده اند. سپس معادلات بهینه سازی هر یک از زیر سامانه ها با استفاده از توابع هزینه به دست آمده اند.



شکل ۳- توابع هزینه زیر سامانه های مدیریت پسماند شهری

Figure 3- The cost functions of Municipal waste management sub-systems

روابط ریاضی مورد استفاده جهت اعمال قیود در نظر گرفته شده

برای اعمال هر یک از قیود شماره ۱ الی ۳ روابطی در نظر گرفته شده است که در ادامه به ترتیب معرفی می گردند.

برای اعمال قید (۱)

از متغیر جریمه[۱] در رابطه ۶ استفاده گردید. در این رابطه M میزان کل پسماند تولیدی و Xi ورودی هر زیر سامانه می باشد.

$$\text{Penalti} = abs\ (M - \sum_{i=1}^{5} x_i) \qquad (6)$$

در متغیر جریمه اگر مجموع ورودی هر زیر سامانه که در الگوریتم ژنتیک بصورت تصادفی تولید می شود با M برابر باشد مقدار جریمه برابر با صفر می شود و برای مقادیر بیش تر و کم تر از این مقدار جریمه در نظر گرفته می شود. برای قید ۲ در زمان تولید اعداد تصادفی ورودی هر یک از زیر سامانه ها، بازه عدد معادل ظرفیت هر زیر سامانه مطابق با نمونه جدول ۱ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- نمونه ماکزیمم ظرفیت زیر سامانه ها جهت اعمال قید ۲

Table 1-An example of sub-systems maximum capacity to apply the constraint 2

زیر سامانه	نام متغیر	ماکزیمم ظرفیت (تن در سال)	زیر سامانه	نام متغیر	ماکزیمم ظرفیت (تن در سال)
بازیافت	X1	۶۰۰۰۰۰	زباله سوز	X4	۶۰۰۰۰
کمپوست هوازی	X2	۵۰۰۰۰۰	دفن بهداشتی	X5	۱۷۰۰۰۰۰
هاضم بی هوازی	X3	۶۰۰۰۰			

برای قید (۳) ورودی زیر سامانه دفن بهداشتی برابر با مقدار پسماند تولیدی منهای مجموع ورودی هر یک از ۴ زیر سامانه بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی و زباله سوز مطابق با رابطه ۷ در نظر گرفته شده است .

$$\text{if } M > \sum_{i=1}^{5} x_i \quad then \ x_5 = x_5 + (M - \sum_{i=1}^{5} x_i) \qquad (7)$$

با توجه به روابط نام برده شده در بالا، هزینه کل سامانه مدیریت پسماند شهری از مجموع هزینه هر یک از زیر سامانه ها که با استفاده از روابط۱ تا ۵ محاسبه گردید و مقدار جریمه در رابطه ۶ به دست آمد.

$$\text{TotalCost} = \text{RecyclingCost}(x1) + \text{AerobicCost}(x2) + \text{AnerobicCost}(x3) + \text{IncineratorCost}(x4) + \text{LandfillCost}(x5) + \text{Penalti} \qquad (8)$$

۱- Penalty

ساختار الگوریتم ژنتیک مورد استفاده

الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم تکاملی است که میزان بقا و ویژگی های فرزندان را براساس ویژگی های والدین آن ها پیش بینی می کند (۲۳). هر راه حل تصادفی تولید شده به صورت یک ساختار دو کروموزومی که ژن ها بر روی آن ها قرار دارد و بیان گر متغیر مساله می باشد، کد می شود. ساختار کروموزومی شامل ۵ ژن (متغیر) می باشد که به ترتیب مقادیر ورودی زیر سامانه های بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی، زباله سوز و دفن بهداشتی است. الگوریتم ژنتیک تحقیق با تعداد جمعیت اولیه و دور تکرار برابر با ۱۰۰ اجرا گردید. همچنین برای انجام ادغام از روش انتخاب چرخ رولت استفاده شد و پارامترهای جهش و ادغام با نرخ ۰/۵ و ۰/۷ به ترتیب مورد استفاده قرار گرفتند.

استفاده از کنترلر منطق فازی برای پویایی الگوریتم ژنتیک با استفاده ازسیستم فازی تنظیم پویا[۱] پارامترهای الگوریتم ژنتیک انجام گرفت. با پویا شدن الگوریتم ژنتیک توسط سیستم فازی سرعت رسیدن به جواب افزایش می یابد و جواب بهینه تری قابل دست یابی است و از این طریق موجب بهبود کارایی الگوریتم ژنتیک مورد استفاده می گردد . به منظور پویا کردن از دو متغیر تعداد پاسخ های منحصر به فرد و کیفیت پاسخ استفاده گردید . روابط مورد استفاده هر یک از آن ها در تنظیم پویا عملگرهای الگوریتم ژنتیک در ادامه معرفی شده اند.

یکی از متغیرهای مورد استفاده به منظور پویایی سیستم، تعداد پاسخ های منحصر به فرد [۲]است که در دو مرحله تکرار دچار تغییر نشده اند. این متغیر هر چقدر به یک نزدیک تر باشد نشان دهنده پویایی سیستم و هر چقدر به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده ایستا بودن سیستم هست که می توان با افزایش نرخ دو عمل گر ادغام و جهش سیستم را پویاتر کرد.

روابط مورد استفاده به صورت زیر است :

$$EA = \frac{n_f}{nPop}$$

اندازه جمعیت :nPop

تعداد مقادیر منحصر به فرد برازش در جمعیت :nf

متغیر دیگر در ارتباط با پویایی سیستم، کیفیت پاسخ است . هر چقدر این متغیر به یک نزدیک تر باشد سیستم پویا تر است و هر چقدر از یک دور و به سمت صفر میل کند بین پاسخ ها نزدیکی وجود دارد و برای رفع آن باید نرخ ادغام و جهش را افزایش داد.

$$QR = \frac{Max(Pop.Cost) - Avrg(Pop.Cost)}{Max(Pop.Cost)}$$

میانگین هزینه جمعیت :Average(pop.cost)

بیشترین هزینه جمعیت :Max (pop.cost)

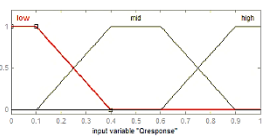
طراحی سیستم فازی

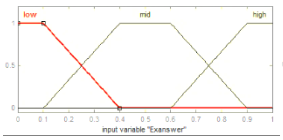
با توجه به دو تا متغیر نامبرده شده در بالا یک سیستم فازی با دو ورودی و خروجی طراحی گردید که در شکل ۴ الف و ب به ترتیب ورودی ها و خروجی ها نشان داده شده اند. سیستم فازی مورد استفاده دارای سه مرحله می باشد.

۱- محاسبه پارامترهای تصمیم (تعداد پاسخ های منحصر به فرد، کیفیت پاسخ). ۲- موتور استنتاج فازی ۳- فازی سازی .هرکدام از دو پارامتر ورودی سیستم "تعداد پاسخ های منحصر به فرد و کیفیت پاسخ " دارای سه تابع عضویت ذوزنقه ای هستند و مقادیر هریک از این پارامترها بین صفر و یک انتخاب می شوند. با استفاده از موتوراستنتاج فازی و بر اساس پارامترهای ورودی و اعمال قوانین، خروجی هرکدام از پارامترهای مورد نیاز (نرخ جهش و نرخ ادغام) تعیین شد. قوانین فازی مورد استفاده برای دو پارامتر ادغام و جهش به ترتیب در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

۱- Dynamic

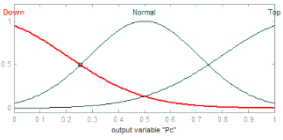
۲- Exclusive answer

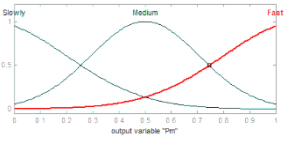




شکل ۴ الف ورودی های سیستم فازی

Figure 4-A. Fuzzy system inputs





شکل ۴ ب خر وجی های سیستم فازی

Figure 4-B. Fuzzy system outputs

جدول ۲-قوانین فازی مورد استفاده برای نرخ ادغام

Table 2- The Fuzzy rules used for cross over rate

Quality Response	Exclusive answer			
		Low	Mid	High
	Low	Top	Top	Normal
	Mid	Top	Normal	Down
	High	Normal	Down	Down

جدول ۳- قوانین فازی مورد استفاده برای نرخ جهش

Table 3- The Fuzzy rules used for mutation rate

Quality Response	Exclusive answer			
		Low	Mid	High
	Low	Fast	Fast	Medium
	Mid	Fast	Medium	Slowly
	High	Medium	Slowly	Slowly

یافته ها

مدل پیشنهادی تحقیق با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبود یافته توسط کنترلر منطق فازی برای هر زیر سامانه مدیریت پسماند شهر تهران با ظرفیت های مختلف اجرا گردید و در هر اجرای مدل با افزایش ظرفیت زیر سامانه ها، میزان تغییر ظرفیت هر زیر سامانه به دست آمده و مقدار بهینه پسماند همراه با درصد تخصیص یافته از ظرفیت در جداول ۴ الی ۸ و نمودارهای شکل ۵ برای زیر سامانه های بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی، زباله سوز و دفن بهداشتی تعیین گردید. نتایج به دست آمده نشان می دهد که با استفاده از این مدل می توان به صورت کاملا بهینه هزینه را به درآمد تبدیل کرد و با توسعه هوشمندانه زیر سامانه ها، ظرفیت تخصیص به هر زیر سامانه را طوری مدیریت نمود تا خروجی کلی سامانه با توجه به تابع هدف بهینه ترین حالت ممکن گردد.

همچنین مقادیر جداول نام برده شده و تغییرات نمودارهای مربوطه بیان گر این واقعیت است که با افزایش ظرفیت تخصیص یافته به هر یک از زیر سامانه ها، کاهش هزینه و افزایش سود آوری از روند یکسانی برخوردار نمی باشد و در زیر سامانه های مختلف دارای تغییرات متفاوت است.

بنابراین این تحقیق می تواند ملاک عمل سناریوهای مختلف مدیریتی گردد و بر اساس آن با توجه به بودجه توسعه می توان بهترین تخصیص توسعه هر زیر سامانه را اعمال کرد.

جدول ۴-مقادیر و درصد بهینه زیر سامانه بازیافت در ظرفیت های مختلف (تن در سال)

Table 4- The optimal values and percent of recycling subsystem at different capacities (Tons per year)

بازیافت	۱	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
ظرفیت تخصیص داده شده	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۳۵۰۰۰۰۰
مقدار بهینه از ظرفیت	۴۹۹۷۴	۳۸۱۹۱۱	۷۵۷۶۷۸	۶۷۷۷۸۲	۵۷۸۵۸۲	۵۰۹۸۴۸	۴۹۵۶۲۹	۴۵۲۴۷۶
درصد مصرفی از ظرفیت	۹۹/۹۴۸	۷۶/۳۸۲۲	۷۵/۷۶۷۸	۴۵/۱۸۵۴۷	۲۸/۹۲۹۱	۲۰/۳۹۳۹۲	۱۶/۵۲۰۹۷	۱۲/۹۲۷۸۹

جدول ۵- مقادیر و درصد بهینه زیر سامانه کمپوست هوازی در ظرفیت های مختلف (تن در سال)

Table 5- The optimal values and percent of aerobic composting subsystem at different capacities (Tons per year)

کمپوست هوازی	۱	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
ظرفیت تخصیص داده شده	۳۵۰۰۰	۳۵۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰	۱۰۵۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۷۵۰۰۰۰	۲۱۰۰۰۰۰	۲۴۵۰۰۰۰
مقدار بهینه از ظرفیت	۳۴۸۴۳/۶۲	۳۴۷۸۵۳/۱	۴۵۸۰۷۸/۸	۶۵۹۹۹۵	۷۸۹۵۲۹	۹۶۹۵۷۲	۹۶۲۳۰۶	۹۴۷۷۵۷
درصد مصرفی از ظرفیت	۹۹/۵۵۳۲۱	۹۹/۳۸۶۶۱	۶۵/۴۳۹۸۳	۶۲/۸۵۶۶۷	۵۶/۳۹۴۹۳	۵۵/۴۰۴۱۱	۴۵/۸۲۴۱	۳۸/۶۸۳۹۶

جدول ۶- مقادیرو درصد بهینه زیر سامانه هاضم بی هوازی در ظرفیت های مختلف (تن در سال)

Table 6- The optimal values and percent of anaerobic digestion subsystem at different capacities (Tons per year)

هاضم بی هوازی	۱	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
ظرفیت تخصیص داده شده	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰
مقدار بهینه از ظرفیت	۹۸۶۵/۸۱	۲۹۷۸/۶۹۵	۱۳۷۷۳۴/۵	۱۳۱۱۲۹/۶	۱۴۱۲۴۷	۱۵۲۲۹۲	۱۶۵۴۲۸	۱۸۲۰۸۲
درصد مصرفی از ظرفیت	۹۸/۶۵۸۱	۲/۹۷۸۶۹۵	۶۸/۸۶۷۲۷	۴۳/۷۰۹۸۸	۳۵/۳۱۱۷۵	۳۰/۴۵۸۴	۲۷/۵۷۱۳۳	۲۶/۰۱۱۷۱

جدول ۷ - مقادیر و درصد بهینه زیر سامانه زباله سوز در ظرفیت های مختلف (تن در سال)

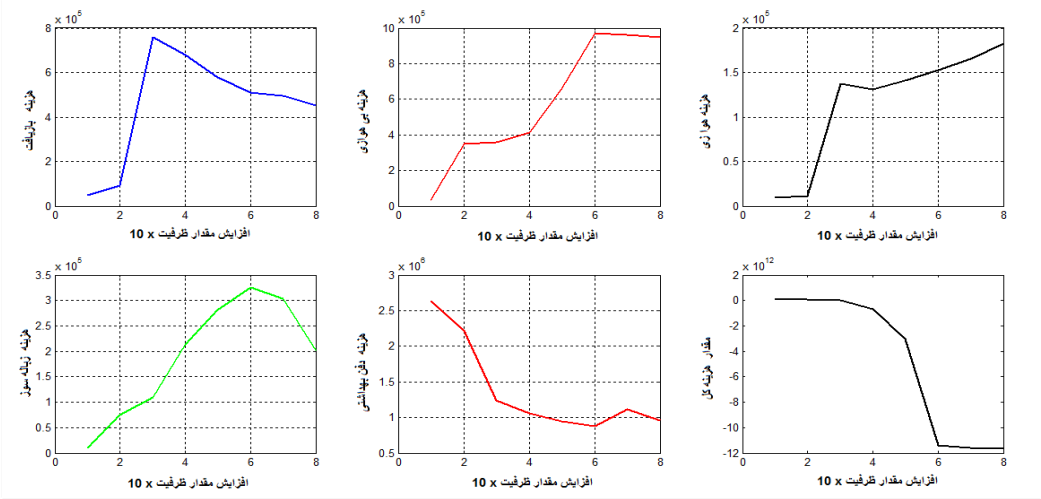
Table 7- The optimal values and percent of incinerator subsystem at different capacities (Tons per year)

زباله سوز	۱	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
ظرفیت تخصیص داده شده	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰
مقداربهینه از ظرفیت	۹۹۹۹/۰۸۳	۷۴۴۳۹/۳۳	۱۴۵۶۹۹/۳	۲۱۴۰۱۹/۹	۲۸۱۴۳۲	۳۲۵۹۳۴	۳۰۲۹۶۷	۲۰۱۷۷۲
درصد مصرفی از ظرفیت	۹۹/۹۹۰۸۳	۷۴/۴۳۹۳۳	۷۲/۸۴۹۶۶	۷۱/۳۳۹۹۵	۷۰/۳۵۸	۶۵/۱۸۶۸	۵۰/۴۹۴۵	۲۸/۸۲۴۵۷

جدول ۸- مقادیر و درصد بهینه زیر سامانه دفن بهداشتی در ظرفیت های مختلف (تن در سال)

Table 8- The optimal values and percent of landfill subsystem at different capacities (Tons per year)

دفن بهداشتی	۱	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
مقدار کل پسماند شهر تهران	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰
مقدار بهینه از ظرفیت	۲۶۳۲۸۱۷	۱۹۳۰۳۱۸	۱۲۳۸۳۰۹	۱۰۵۴۵۷۴	۹۴۶۷۱۰	۷۷۹۸۵۴	۱۱۱۴۱۳۷	۹۵۳۴۱۳
درصد مصرفی از کل پسماند	۹۶/۱۷۵۹۸	۷۰/۵۱۳۸۹	۴۵/۲۳۵۰۴	۳۸/۵۲۳۲۳	۳۴/۵۸۳۰۱	۲۸/۴۸۷۸۲	۴۰/۶۹۹۰۷	۳۴/۸۲۷۸۷
مقدار بهینه از ظرفیت به اضافه برگشتی های زیر سامانه ها	۲۵۶۶۳۰۷	۲۴۳۶۴۰۱	۲۱۱۰۸۸۳	۲۱۰۴۵۷۵	۲۰۰۷۲۴۲	۱۸۱۰۹۷۸	۱۸۱۹۱۴۶	۲۰۶۵۷۰۲



شکل ۵- تغییرات هزینه زیر سامانه ها در ظرفیت های مختلف

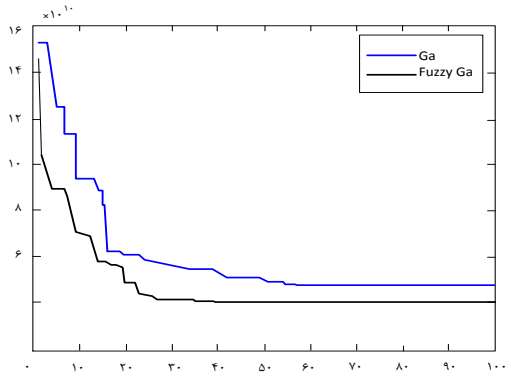
Figure 5- The subsystems' cost changes at different capacities

زیر سامانه بازیافت با افزایش ظرفیت ابتدا دارای روند افزایشی در میزان هزینه و سپس کاهشی می باشد و با توجه به نتایج می توان بیان داشت که در ۲۰ برابر افزایش ظرفیت در نظرگرفته شده دارای میزان هزینه کمینه و میزان سود آوری بیشینه خواهد بود و مقدار پسماند تخصیص یافته بهینه به آن درحدود ۷۵۰ هزار تن در سال با درصد تخصیص ۷۵٪ خواهد بود . زیر سامانه کمپوست هوازی تا ۵۰ برابر افزایش ظرفیت تخصیص داده شده با افزایش درآمد و کاهش هزینه روبرو است و بعد از آن افزیش ظرفیت دارای اثر درکاهش هزینه و افزایش سودآوری نخواهد بود و مقدار پسماند بهینه ورودی سالانه به این زیر سامانه درحدود ۹۶۰ هزار تن در سال با درصد تخصیص یافته معادل ۵۵٪ است. همان طور که نتایج مربوط به زیر سامانه بی هوازی نشان می دهد، این زیر سامانه با افزایش میزان ظرفیت با افزایش سودآوری و کاهش هزینه روبرو است و تقریبا می توان بیان داشت که با افزایش ظرفیت تخصیص داده شده، این زیر سامانه دارای روند افزایشی است و مقدار پسماند بهینه ورودی به این زیر سامانه در حدود ۱۸۲ هزار تن در سال با درصد تخصیص یافته ۲۶ ٪ خواهد بود.

درمورد زیر سامانه زباله سوز تا ۵۰ برابر افزایش میزان ظرفیت، کاهش هزینه روی می دهد. بعد از آن افزایش ظرفیت تاثیری در میزان کاهش هزینه نخواهد داشت. با توجه به خروجی مدل پیشنهادی این نتیجه حاصل می شود که مقدار بهینه پسماند برای این زیر سامانه ۳۲۵ هزار تن در سال با درصد تخصیص ۶۵٪ است. زیر سامانه دفن بهداشتی دارای میزان هزینه کمینه تا افزایش ظرفیت ۵۰ برابر می باشد و مقدار پسماند بهینه ورودی سالانه برای این زیر سامانه برابر با ۷۸۰۰۰۰ تن با درصد تخصیص یافته ۲۸٪ می باشد. زیر سامانه دفن بهداشتی علاوه بر مقدار ورودی ، درصدی از برگشتی های ۴ زیر سامانه بازیافت، کمپوست هوازی، هاضم بی هوازی و زباله سوز را نیز می پذیرد که مقدار بهینه به اضافه برگشتی های ۴ زیر سامانه نام برده به دفن بهداشتی در جدول ۸ خلاصه شده اند. یکی از مهم ترین نتایج این تحقیق در رابطه با زیر سامانه دفن بهداشتی است . با توجه به مقایسه نتایج مدل تحقیق برای این زیر سامانه با شرایط کنونی می توان بیان داشت که برای رسیدن به یک سامانه مدیریت پسماند شهری بهینه ضرورت دارد تدابیر لازم از سوی مدیران اجرایی به منظورکاهش مقدار پسماند ورودی سالانه به زیر سامانه دفن بهداشتی صورت بگیرد و میزان ظرفیت ورودی آن به ۷۸۰۰۰۰ تن در سال برسد. همچنین با توجه به مقدار برگشتی های زیر سامانه های دیگر مطابق با مدل تحقیق نمی توان ظرفیت آن را از میزان نام برده شده کم تر کرد .

مقایسه الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ژنتیک بهبود یافته با کنترلر منطق فازی :

بررسی نتایج اجرای مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ژنتیک مبتنی بر منطق فازی مطابق با شکل ۶ نشان می دهد که کنترلر منطق فازی اثر مثبتی در کارایی الگوریتم ژنتیک در رسیدن به جواب بهینه تر با سرعت بیش تر دارد و در واقع با استفاده از پویا کردن الگوریتم ژنتیک توسط منطق فازی می توان سرعت رسیدن به جواب بهینه را افزایش داد. با توجه به حساسیت و پیچیدگی سیستم سرعت رسیدن به جواب بهینه بسیار با ارزش می باشد . زیرا در هر بار اجرای این مدل زمان زیادی برای رسیدن به جواب بهینه صرف می شود . بنابراین پویایی الگوریتم ژنتیک توسط منطق فازی در این تحقیق از اهمیت زیادی برخوردار است.



شکل ۶- مقایسه الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ژنتیک فازی

Figure 6- Comparing the genetic algorithm and fuzzy genetic algorithm

نتیجه گیری

در این تحقیق سعی بر آن شد که یک مدل بهینه برای سامانه مدیریت پسماند شهری تهران با هدف کاهش هزینه و افزایش درآمد با روش الگوریتم ژنتیک بهبود یافته توسط کنترلر منطق فازی ارایه شود و بر اساس آن مقادیر بهینه سالانه پسماند شهر تهران به هر یک از ۵ زیر سامانه بازیافت، کمپوست هوازی ، هاضم بی هوازی، زباله سوز و دفن بهداشتی تخصیص یافت تا بتوان به صورت کاملا اجرایی از مدل ارایه شده در جهت افزایش بهره وری سالانه سامانه مدیریت پسماند شهر تهران استفاده نمود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل بهینه سامانه مدیریت پسماند شهری ترکیبی از گزینه های مختلف مدیریت پسماند در راستای رسیدن به بیش ترین بهره وری و کاهش هزینه ها و افزایش درآمد می باشد و تنها استفاده از یک گزینه مدیریت پسماند مقرون به صرفه نمی باشد. همچنین می توان بیان داشت که افزایش ظرفیت تخصیص یافته به هر یک از زیر سامانه ها به معنای کاهش هزینه و افزایش درآمد زایی نمی باشد و بهینه ترین نقطه در هر یک از زیر سامانه ها نقطه ای است که تابع هدف در آن بهینه گردد. با توجه به نتایج اجرای مدل پیشنهادی تحقیق با استفاده از الگوریتم ژنتیک فازی، افزایش ظرفیت زیر سامانه های با هزینه کمتر و درآمد بیشتر تا میزان مشخصی می تواند به بیشترین سود آوری منجر گردد و افزایش ظرفیت این زیر سامانه ها بعد از این میزان مشخص نمی تواند مقرون به صرفه باشد. همچنین با بررسی تغییرات نمودار هزینه کل سامانه می توان نتیجه گیری کرد که افزایش ظرفیت زیر سامانه ها در مجموع تا میزان مشخصی باعث بهینه ترشدن سامانه مدیریت پسماند شهری می گردد و بعد از آن تاثیر مثبتی درکاهش هزینه سامانه و افزایش درآمد زایی نخواهد داشت. مقایسه نتایج اجرای الگوریتم ژنتیک به تنهایی با الگوریتم ژنتیک بهبود یافته توسط کنترلر منطق فازی نشان می دهد که سیستم فازی نقش مثبتی در کارایی الگوریتم ژنتیک در رسیدن به جواب بهینه تر با سرعت بالاتر را دارا می باشد و

بنابراین می توان به منظور پویا کردن الگوریتم ژنتیک در جهت کارایی بیش تر به منظور رسیدن به جواب بهینه از سیستم فازی در این مدل به خوبی بهره جست. از دیگر مزایای این تحقیق می توان به پویایی مدل پیشنهادی اشاره داشت که با توجه به بودجه توسعه، می توان سناریوهای بهینه تخصیص به هر زیر سامانه را یافته و بهینه ترین توسعه زیر سیستمی را انجام داد. از مهم ترین پیشنهادات آتی تحقیق حاضر می توان به موارد زیر اشاره داشت:

۱-برآورد هزینه محیط زیستی سامانه مدیریت پسماند شهری

۲- تعیین ظرفیت هر یک از اجزاء زیر سامانه مدیریت پسماند شهری

۳- استفاده از الگوریتم های هوشمندی مانند الگوریتم کلونی مورچگان یا الگوریتم ازدحام ذرات در یافتن جواب بهینه سامانه می تواند موثر باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مساعدت های مسئولین و کارشناسان محترم سازمان مدیریت پسماند و اداره بازیافت مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران که در انجام این تحقیق همکاری داشته اند قدردانی می گردد. شایان ذکر است تحقیق حاضر حاصل از پایان نامه می باشد.

منابع

1. Nzeadibe T. Ajaero C. 2010. Informal waste recycling and urban governance in Nigeria: Some experiences and policy implications. Handbook of Environmental Policy, Nova Science Publishers, pp.245–264.
2. Singh R. Singh P. Araujo A. Hakimi Ibrahim M. Sulaiman O .2011.Management of urban solid waste: Vermi composting a sustainable option. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 55 , pp.719–729
3. Guerrero L. Maas G. Hogland W.2013.Solid waste management challenges for cities in developing countries. Waste Management,Vol. 33, pp. 220–232
4. Pires A. Martinho G. Chang N .2011.Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. Environmental Management, Vol. 92, pp.1033–1050
5. Minoglou M. Komilis D.2013.Optimizing the treatment and disposal of municipal solid wastes using mathematical programming – A case study in a Greek region. Resources Conversation and Recycling, Vol.80, pp.46-57
6. Holland J. 1975. Adaption in natural and artificial systems, an introductory analysis with application to biology control and artificial intelligence.The University of Michigan Press, Ann Arbor.
7. Guo H. Feng Y. Hao F. Zhong S. Li S .2014. Dynamic fuzzy logic control of genetic algorithm probabilities. Journal of Computers, Vol. 9, pp.22-26
8. Vannucci M. Colla V .2015. Fuzzy adaptation of cross over and mutation rates in genetic algorithm based on population performance . Journal of Intelligent &Fuzzy Systems,Vol. 28, pp.1805-1818
9. Feng Y. Dynamic fuzzy logic control of genetic algorithm probabilities. Master Thesis, Dalarna University, Sweden, 2008.
10. Jie W. Chi M. Dezheng Z. Ye X .2018. Municipal solid waste management and green house gas emission control through an inexact optimization model under interval and random uncertainties. Engineering Optimization, pp.1-15
11. Lyeme H. Allen M .2016. Implementation of a goal programming model for solid waste management : a case study of dares salaam –Tanzania. International Journal for Simulation and Multi Diciplinary Design Optimization, Vol.8, pp.1-10
12. Mavrotas G .2015. Municipal solid waste management and energy production: Consideration of external cost through multi-objective optimization and its effect on waste-

to-energy.Sustainable Energy Reviews, Vol.51, pp. 1205-1222
13. Badran M. El-Haggar S .2006.Optimization of municipal solid waste management in Port Said – Egypt.Waste Management ,Vol.26, pp.534–545
14. Minciardi R .2008.Multi-objective optimization of solid waste flows: Environmentally sustsinable strategies for municipalities.Waste Management, Vol. 28, pp. 2202-2212
15. Galante F. Aiello G. Enea M. Panascia E .2010. A multi-objective approach to solid waste management.Waste Management, Vol.30, pp.1720–1728
16. Noche B. Rhoma F. Chinakupt T. Jawale M. Optimization model for solid waste management system network design case study. In: Proceedings of the 2nd international conference on computer and automation engineering: 2010. pp. 230–236
17. Guo P. Huang G .2010. Interval – parameter semi-infinite fuzzy-stochastic mixed-integer programming approach for environmental management under multiple uncertainties. Waste Management, Vol .30, pp.521-531
18. Cucchiella F .2014. Strategic municipal solid waste management: a quantitative model for Italian regions. Energy Conversion and Management,Vol. 77, pp.709-720
19. Yu H .2015.Optimization of long-term performance of municipal solid waste management system: A bi-objective mathematical model . International Journal of Energy and Environment, Vol.6, pp.153-164
20. Samieefar, R. "Mathematical modeling of municipal solid waste management (Case study: Tehran city)", Doctoral Thesis in Environmental Engineering, University of Tehran, Faculty of Environment , 2016; pp. 62-73(In Persian).
21. Nasrollahi, S. " Study and feasibility of estimating the minimum cost and emissions of municipal solid waste disposal by compost method using operational research techniques in Tehran", Master's Thesis in Agricultural Engineering, University of Tehran, Faculty of Agriculture, 2015; pp. 26 – 27(In Persian).
22. Tehran waste management organization, Tehran Municipality, Iran, Statistical Report of 2016 (In Persian).
23. Goldberg E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Longman Publishing .