

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<sup>۱</sup>

رضا ارجمندی<sup>۲\*</sup>

[hrezaarjmandi@gmail.com](mailto:hrezaarjmandi@gmail.com)

حسن هویدی<sup>۳</sup>

جمال قدوسی<sup>۲</sup>

محمد رضا میری لواسانی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۲۳

### 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 نظر گرفتن 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.

**بافته 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

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

Monireh Ahani <sup>1</sup>

Reza Arjmandi <sup>۲\*</sup>

[hrezaarjmandi@gmail.com](mailto:hrezaarjmandi@gmail.com)

Hassan Hoveidi <sup>۳</sup>

Jamal Ghodousi <sup>2</sup>

Mohammad Reza Miri Lavasani <sup>2</sup>

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 Kooch 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<sup>۱</sup> 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 قطعیت 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 کارایی 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

موثری را تاکنون در این زمینه انجام داده است ولی همچنان معضل دفع نهایی پسماند تهران از مهم ترین مسایل مدیریت محیط زیستی می باشد، لذا هدف از این تحقیق ارائه یک مدل بهینه با استفاده از الگوریتم هوشمند ژنتیک مبتنی بر منطق 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.

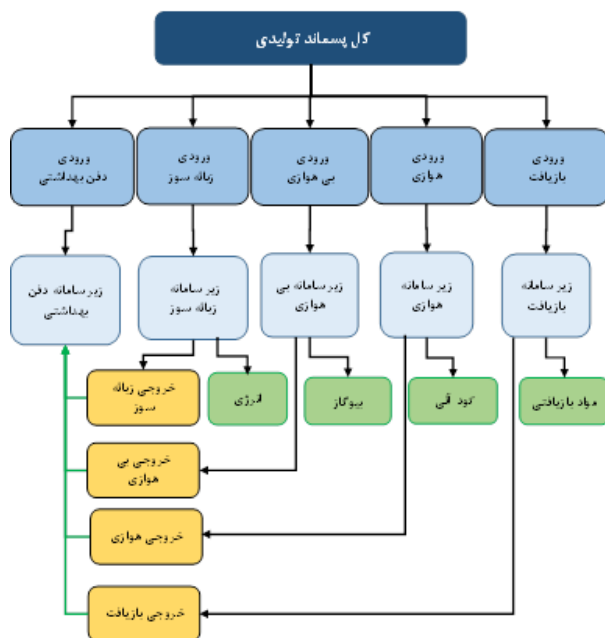
### روش بررسی

#### 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 ۳۱ دقیقه 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 کیلومتر مربع (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

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 ارائه یک مدل بهینه برای شهر دارالسلام در کشور تانزانیا انجام گردیده است. مدل ارائه شده دارای اهداف ۱- 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). از جمله مطالعات مشابه دیگر در سایر نقاط دنیا می توان به بادران و الهاجر (۲۰۰۶) در کشور مصر، مین چپاردی و همکاران (۲۰۰۸) در کشور ایتالیا، گالانته و همکاران (۲۰۱۰) در کشور ایتالیا، نوچه و همکاران (۲۰۱۰) در کشور آلمان، گو و هوانگ (۲۰۱۰) در کشور کانادا، کوچیه لائو و همکاران (۲۰۱۴) در کشور ایتالیا، یو و همکاران (۲۰۱۵) اشاره کرد (۱۳-۱۹). در مجموع 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 سودمند و موثر پسماندها می باشد و شهرداری تهران اقدامات

بازيافت (پردازش)، كمپوست هوازي، هاضم بي هوازي، زباله سوز و دفن بهداشتي است و بخش سوم مربوط به خروجي زير سامانه هاست. هر يك از زيرسامانه هاي بازيافت، كمپوست هوازي، هاضم بي هوازي و زباله سوز داراي مقادير ورودی از منابع توليدي و مقادير خروجي به زير سامانه دفن بهداشتي می باشند. زير سامانه دفن بهداشتي علاوه بر مقادير خروجي زير سامانه هاي ذكر شده، مقاديري از پسماند توليدي را نيز به صورت مستقيم دريافت می نمايد. فلوجارت انجام تحقيق در شكل ۲ خلاصه گرديده است.



شكل ۱- مدل سامانه مدیریت پسماند شهری

Figure 1- Municipal waste management system model

هاضم بي هوازي و زباله سوز معادل ماكزيمم ظرفيت هر يك از زيرسامانه ها در نظر گرفته شده است. ۳-زيرسامانه دفن بهداشتي علاوه بر مقدار ورودی پسماند به اين زير سامانه، مقدار برگشتي هريك از ۴ زير سامانه بازيافت، كمپوست هوازي، هاضم بي هوازي و زباله سوز را نيز می پذيرد.

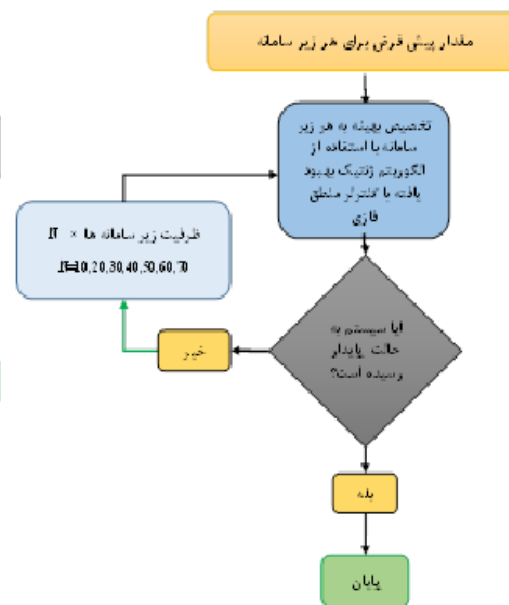
#### توابع محاسبه هزینه زير سامانه ها

توابع هزینه مربوط به هر يك از ۵ زير سامانه مدیریت پسماند

اطلاعات ثبت شده در مجتمع آرادكوه، مصاحبه حضوري با كارشناسان و مسئولين امر در مجتمع آرادكوه و همچنين مطالعه اسناد، آمار و اطلاعات موجود در كتابخانه سازمان مديريت پسماند شهرداری تهران استفاده شد.

#### مدل پيشنهادهی تحقيق

در اين تحقيق زير سامانه هاي دخيل در مدل و مرز سامانه مطابق با شكل ۱ در نظر گرفته شده است. شبكه جريان پسماند مطابق با شكل به سه بخش اصلي تقسيم می شود. بخش اول شامل منبع توليد است، بخش دوم زير سامانه هاي



شكل ۲- فلوجارت انجام تحقيق

Figure 2- Research flowchart

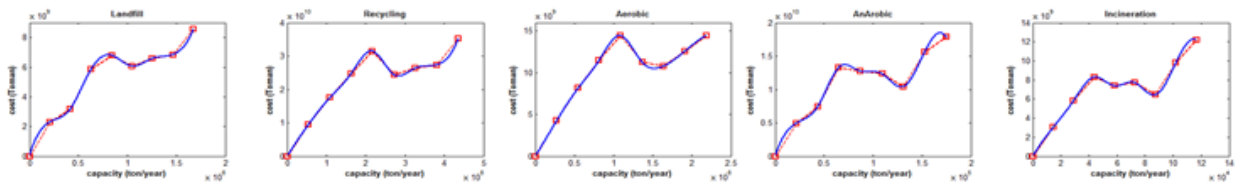
#### قيود مورد استفاده در مدل تحقيق

۱-مجموع ميزان پسماند ورودی به ۵ زير سامانه مدیریت پسماند شهری از جمله بازيافت، كمپوست هوازي، هاضم بي هوازي، زباله سوز و سامانه دفن بهداشتي بايد برابر با كل ميزان پسماند توليدي بر حسب تن در سال باشد.

۲- ماكزيمم ميزان پسماند ورودی به هر يك از ۴ زير سامانه مديريت پسماند شهری از جمله بازيافت، كمپوست هوازي،

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.

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



شکل ۳- توابع هزینه زیر سامانه های مدیریت پسماند شهری

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

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.

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<sup>۱</sup> در رابطه ۶ استفاده گردید. در این رابطه  $M$  میزان کل پسماند تولیدی و  $X_i$  ورودی هر زیر سامانه می باشد.

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

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	۶۰۰۰۰	زباله سوز	X4	۶۰۰۰
کمپوست هوازی	X2	۵۰۰۰۰	دفن بهداشتی	X5	۱۷۰۰۰۰
هاضم بی هوازی	X3	۶۰۰۰			

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 روابط ۱ تا ۵ محاسبه گردید و مقدار جریمه در رابطه ۶ به دست آمد.

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.

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

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

## 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 از سیستم فازی تنظیم پویا<sup>۱</sup> 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 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:

$$EA = \frac{n_f}{n_{Pop}}$$

nPop: جمعیت

nf: تعداد مقادیر منحصر به فرد برازش در جمعیت

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.

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

Average(pop.cost): میانگین هزینه جمعیت

Max (pop.cost): بیشترین هزینه جمعیت

## طراحی سیستم فازی

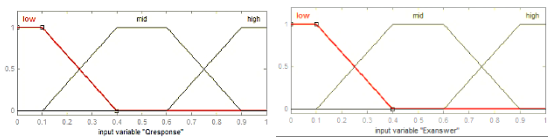
با توجه به دو تا متغیر نامبرده شده در بالا یک سیستم فازی با دو ورودی و خروجی طراحی گردید که در شکل ۴ الف و ب به ترتیب ورودی ها و خروجی ها نشان داده شده اند. سیستم فازی مورد استفاده دارای سه مرحله می باشد.

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 دوزنقه ای هستند و مقادیر هر یک از این پارامترها بین صفر و یک انتخاب می شوند. با استفاده از موتور استنتاج 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

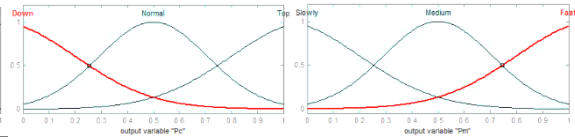
۲- Exclusive answer





شکل ۴ الف ورودی های سیستم فازی

Figure 4-A. Fuzzy system inputs



شکل ۴ ب خروجی های سیستم فازی

Figure 4-B. Fuzzy system outputs

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	

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	

## یافته ها

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.

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

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	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
ظرفیت تخصیص داده شده	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۳۵۰۰۰۰
مقدار بهینه از ظرفیت	۴۹۹۷۴	۷۵۷۶۷۸	۶۷۷۷۸۲	۵۷۸۵۸۲	۵۰۹۸۴۸	۴۹۵۶۲۹	۴۵۲۴۷۶
درصد مصرفی از ظرفیت	۹۹/۹۴۸	۷۶/۳۸۲۲	۴۵/۱۸۵۴۷	۲۸/۹۲۹۱	۲۰/۳۹۳۹۲	۱۶/۵۲۰۹۷	۱۲/۹۲۷۸۹

جدول ۵- مقادير و درصد بهينه زير سامانه كمپوست هوازي در ظرفيت هاي مختلف ( تن در سال )

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

۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۱	كمپوست هوازي
۲۴۵۰۰۰۰	۲۱۰۰۰۰۰	۱۷۵۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۰۵۰۰۰۰	۷۰۰۰۰۰۰	۳۵۰۰۰۰۰	۳۵۰۰۰۰	ظرفيت تخصيص داده شده
۹۴۷۷۵۷	۹۶۲۳۰۶	۹۶۹۵۷۲	۷۸۹۵۲۹	۶۵۹۹۹۵	۴۵۸۰۷۸/۸	۳۴۷۸۵۳/۱	۳۴۸۴۳/۶۲	مقدار بهينه از ظرفيت
۳۸/۶۸۳۹۶	۴۵/۸۲۴۱	۵۵/۴۰۴۱۱	۵۶/۳۹۴۹۳	۶۲/۸۵۶۶۷	۶۵/۴۳۹۸۳	۹۹/۳۸۶۶۱	۹۹/۵۵۳۲۱	درصد مصرفي از ظرفيت

جدول ۶- مقادير و درصد بهينه زير سامانه هاضم بي هوازي در ظرفيت هاي مختلف ( تن در سال )

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

۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۱	هاضم بي هوازي
۷۰۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	ظرفيت تخصيص داده شده
۱۸۲۰۸۲	۱۶۵۴۲۸	۱۵۲۲۹۲	۱۴۱۲۴۷	۱۳۱۱۲۹/۶	۱۳۷۷۳۴/۵	۲۹۷۸/۶۹۵	۹۸۶۵/۸۱	مقدار بهينه از ظرفيت
۲۶/۰۱۱۷۱	۲۷/۵۷۱۳۳	۳۰/۴۵۸۴	۳۵/۳۱۱۷۵	۴۳/۷۰۹۸۸	۶۸/۸۶۷۲۷	۲/۹۷۸۶۹۵	۹۸/۶۵۸۱	درصد مصرفي از ظرفيت

جدول ۷ - مقادير و درصد بهينه زير سامانه زباله سوز در ظرفيت هاي مختلف ( تن در سال )

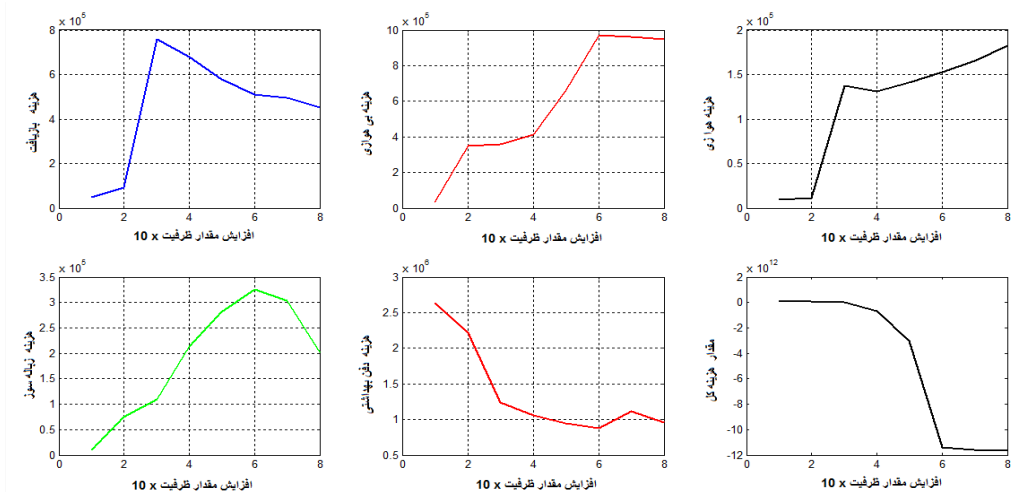
**Table 7- The optimal values and percent of incinerator subsystem at different capacities (Tons per year)**

۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۱	زباله سوز
۷۰۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	ظرفيت تخصيص داده شده
۲۰۱۷۷۲	۳۰۲۹۶۷	۳۲۵۹۳۴	۲۸۱۴۳۲	۲۱۴۰۱۹/۹	۱۴۵۶۹۹/۳	۷۴۴۳۹/۳۳	۹۹۹۹/۰۸۳	مقدار بهينه از ظرفيت
۲۸/۸۲۴۵۷	۵۰/۴۹۴۵	۶۵/۱۸۶۸	۷۰/۳۵۸	۷۱/۳۳۹۹۵	۷۲/۸۴۹۶۶	۷۴/۴۳۹۳۳	۹۹/۹۹۰۸۳	درصد مصرفي از ظرفيت

جدول ۸- مقادير و درصد بهينه زير سامانه دفن بهداشتي در ظرفيت هاي مختلف ( تن در سال )

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

۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۱	دفن بهداشتي
۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	۲۷۳۷۵۰۰	مقدار كل پسماند شهر تهران
۹۵۳۴۱۳	۱۱۱۴۱۳۷	۷۷۹۸۵۴	۹۴۶۷۱۰	۱۰۵۴۵۷۴	۱۲۳۸۳۰۹	۱۹۳۰۳۱۸	۲۶۳۲۸۱۷	مقدار بهينه از ظرفيت
۳۴/۸۲۷۸۷	۴۰/۶۹۹۰۷	۲۸/۴۸۷۸۲	۳۴/۵۸۳۰۱	۳۸/۵۲۳۳۳	۴۵/۲۳۵۰۴	۷۰/۵۱۳۸۹	۹۶/۱۷۵۹۸	درصد مصرفي از كل پسماند
۲۰۶۵۷۰۲	۱۸۱۹۱۴۶	۱۸۱۰۹۷۸	۲۰۰۷۲۴۲	۲۱۰۴۵۷۵	۲۱۱۰۸۸۳	۲۴۳۶۴۰۱	۲۵۶۶۳۰۷	مقدار بهينه از ظرفيت به اضافه برگشتي هاي زير سامانه ها



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

Figure 5- The subsystems' cost changes at different capacities

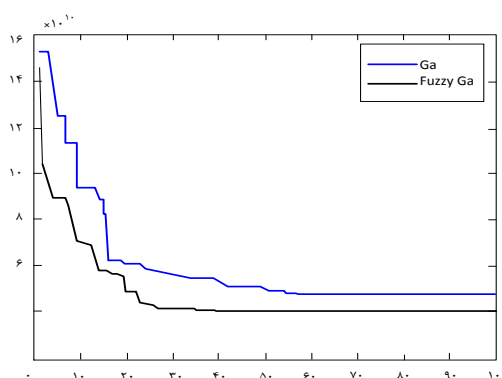
در میزان کاهش هزینه نخواهد داشت. با توجه به خروجی مدل پیشنهادی این نتیجه حاصل می شود که مقدار بهینه پسماند برای این زیر سامانه ۳۲۵ هزار تن در سال با درصد تخصیص ۶۵٪ است. زیر سامانه دفن بهداشتی دارای میزان هزینه کمینه تا افزایش ظرفیت ۵۰ برابر می باشد و مقدار پسماند بهینه ورودی سالانه برای این زیر سامانه 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 بازافت، کمپوست هوزی، هاضم بی هوزی 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 منظور کاهش 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.

زیر سامانه بازافت 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 نظر گرفته شده دارای میزان هزینه کمینه و میزان سود آوری بیشینه خواهد بود و مقدار پسماند تخصیص یافته بهینه به آن در حدود ۷۵۰ هزار تن در سال با درصد تخصیص ۷۵٪ خواهد بود. زیر سامانه کمپوست هوزی تا ۵۰ برابر افزایش ظرفیت تخصیص داده شده با افزایش درآمد و کاهش هزینه روبرو است و بعد از آن افزایش ظرفیت دارای اثر در کاهش هزینه و افزایش سودآوری نخواهد بود و مقدار پسماند بهینه ورودی سالانه به این زیر سامانه در حدود ۹۶۰ هزار تن در سال با درصد تخصیص یافته معادل ۵۵٪ است. همان طور که نتایج مربوط به زیر سامانه بی هوزی نشان می دهد، این زیر سامانه با افزایش میزان ظرفیت با افزایش سودآوری و کاهش هزینه روبرو است و تقریباً 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. در مورد زیر سامانه زباله سوز تا ۵۰ برابر افزایش میزان ظرفیت، کاهش هزینه روی می دهد. بعد از آن افزایش ظرفیت تاثیری

### مقايسه الگوريتم ژنتيك و الگوريتم ژنتيك بهبود يافته با كنترلر منطق فازی :

فازی می توان سرعت رسيدن به جواب بهينه را افزايش داد. با توجه به حساسيت و پيچيدگي سيستم سرعت رسيدن به جواب بهينه بسيار با ارزش می باشد. زيرا در هر بار اجرائی اين مدل زمان زيادی برای رسيدن به جواب بهينه صرف می شود. بنابراین پويايی الگوريتم ژنتيك توسط منطق فازی در اين تحقيق از اهميت زيادی برخوردار است.

بررسی نتايج اجرائی مدل با استفاده از الگوريتم ژنتيك و الگوريتم ژنتيك مبتنی بر منطق فازی مطابق با شكل ۶ نشان می دهد كه كنترلر منطق فازی اثر مثبتی در كارايی الگوريتم ژنتيك در رسيدن به جواب بهينه تر با سرعت بيش تر دارد و در واقع با استفاده از پويا كردن الگوريتم ژنتيك توسط منطق



شكل ۶- مقايسه الگوريتم ژنتيك و الگوريتم ژنتيك فازی

Figure 6- Comparing the genetic algorithm and fuzzy genetic algorithm

هزينه و افزايش درآمد زايی نمی باشد و بهينه ترين نقطه در هر يك از زیر سامانه ها نقطه ای است كه تابع هدف در آن بهينه گردد. با توجه به نتايج اجرائی مدل پيشنهادی تحقيق با استفاده از الگوريتم ژنتيك فازی، افزايش ظرفيت زیر سامانه های با هزينه کمتر و درآمد بيشتر تا ميزان مشخصی می تواند به بيشترين سود آوری منجر گردد و افزايش ظرفيت اين زیر سامانه ها بعد از اين ميزان مشخص نمی تواند مقرون به صرفه باشد. همچنين با بررسی تغييرات نمودار هزينه كل سامانه می توان نتيجه گيری كرد كه افزايش ظرفيت زیر سامانه ها در مجموع تا ميزان مشخصی باعث بهينه تر شدن سامانه مدیریت پسماند شهری می گردد و بعد از آن تاثير مثبتی در کاهش هزينه سامانه و افزايش درآمد زايی نخواهد داشت. مقايسه نتايج اجرائی الگوريتم ژنتيك به تنهایی با الگوريتم ژنتيك بهبود يافته توسط كنترلر منطق فازی نشان می دهد كه سيستم فازی نقش مثبتی در كارايی الگوريتم ژنتيك در رسيدن به جواب بهينه تر با سرعت بالاتر را دارا می باشد و

### نتيجه گيری

در اين تحقيق سعی بر آن شد كه يك مدل بهينه برای سامانه مدیریت پسماند شهری تهران با هدف کاهش هزينه و افزايش درآمد با روش الگوريتم ژنتيك بهبود يافته توسط كنترلر منطق فازی ارايه شود و بر اساس آن مقادير بهينه سالانه پسماند شهر تهران به هر يك از ۵ زیر سامانه بازيافت، كمپوست هوازی، هاضم بی هوازی، زباله سوز و دفن بهداشتی تخصيص يافت تا بتوان به صورت كاملاً اجرائی از مدل ارايه شده در جهت افزايش بهره وری سالانه سامانه مدیریت پسماند شهر تهران استفاده نمود. نتايج حاصل از اين تحقيق نشان داد كه مدل بهينه سامانه مدیریت پسماند شهری ترکیبی از گزینه های مختلف مدیریت پسماند در راستای رسيدن به بيش ترين بهره وری و کاهش هزينه ها و افزايش درآمد می باشد و تنها استفاده از يك گزینه مدیریت پسماند مقرون به صرفه نمی باشد. همچنين می توان بيان داشت كه افزايش ظرفيت تخصيص يافته به هر يك از زیر سامانه ها به معنای کاهش

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 Dicipinary 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-

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

- 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 .
  - to-energy.Sustainable Energy Reviews, Vol.51, pp. 1205-1222
  13. Badran M. El-Haggag 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