علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هجدهم، شماره دو، تابستان ۹۵

کاربرد متدولوژی پویایی‌های سیستم در تحلیل سیستم‌های تولید ،جمع‌آوری و حمل پسماندهای جامد شهری (مطالعه موردی:کلان‌شهر تهران)

محمدعلی افشارکاظمی [۱]
لیلا افتخار [۲*]
Eftekharl@yahoo.com
قاسم علی عمرانی [۳]

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۸ تاریخ پذیرش:۸۹/۴/۲۴

چکیده

زمینه و هدف: تولید پسماند محصول فعالیت های مختلف آدمی است که امروزه با تغییر شیوه زندگی و توسعه همه جانبه نسبت به گذشته، بسیار دگرگون شده است. با پیشرفت علوم و تکنولوژی، مدیریت پسماند نیز تحت بررسی های دقیق علمی و پژوهشی قرارگرفته است. در میان عناصر موظف هشت گانه سیستم مدیریت پسماندهای جامد شهری، عناصر تولید، جمع آوری و حمل از اهمیت ویژه ای برخوردارند. عنصر تولید از آن جهت حایز اهمیت است که اولین حلقه از زنجیره بازیافت بوده و مهم‌ترین بخش و قاعده هرم مدیریت جامع زایدات را کاهش تولید بر عهده دارد.از سوی دیگر بخش اعظم هزینه های سیستم مدیریت مواد زاید جامد مربوط به جمع آوری و حمل پسماندها می باشد.

مواد و روش‌ها: در این مقاله نخست به تشریح سیستم مدیریت پسماندهای جامد شهری، روش‌شناسی مدل‌سازی پویا و پیشینه تحقیقات انجام شده در خصوص مدل‌سازی دینامیکی سیستم‌های مدیریت مواد زاید جامد شهری پرداخته‌ایم . در گام بعدی مدلی پویا از سیستم-های تولید ،جمع آوری و حمل زباله در شهر تهران ارایه نموده‌ایم. پس از تدوین مدل در محیط نرم‌افزاری پویا، نتایج حاصل از اجرای مدل را تحلیل نموده و جهت اعتباردهی به مدل آن را تحت آزمون های اعتبارسنجی قرار داده ایم.

بحث و نتیجه‌گیری: پس از آن‌که مدلی معتبر حاصل گردید، با استفاده از تحلیل سیاست و حساسیت مدل به تدوین سناریوی بهبود سیستم در راستای روش 3R [۴] پرداخته‌ایم. در شهر تهران بهترین گزینه برای مدیریت زیرسیستم های تولید، جمع آوری و حمل

۱- دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.
۲- دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات *(مسوول مکاتبات).
۳- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط،دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

4- Reduction-Reuse-Recycle

Archive of SID
www.SID.ir

پسماندها، تأکید بر کاهش تولید و کاستن از سرانه تولید زباله، آگاهی بخشی شهروندان و مسوولان بر لزوم جداسازی زباله خشک و تر در مبدأ تولید و تلاش در جهت بهبود عملکرد طرح تفکیک پسماند های خشک است.

واژه‌های کلیدی: پسماند جامد شهری، شهر تهران، پسماند خشک ارزش‌مند، مدل‌سازی پویا.

Archive of SID

www.SID.ir

J.Env. Sci. Tech., Vol 18, No.2, summer 2016

The use of System Dynamics Methodology for Analysis of Generation, Collection and Transport Systems of Municipal Solid Waste (The case of metropolitan city of Tehran)

Mohammad Ali Afshar Kazemi[1]
Leila Eftekhar[2]*
Eftekharl@yahoo.com
Ghasem Ali Omrani[3]

Abstract

Background and Objective: The waste generation is the product of different human activities that have been transformed because of the change of life style and multilateral development. By progression in science and technology, waste management has been reviewed scientifically. Within the eight branches of functional elements of municipal solid waste management system, generation, collection and transportation have especial importance. The significance of waste generation is due to being the first loop in the chain of recycling and reducing production is the base of comprehensive solid waste management pyramid .Otherwise the greatest part of costs for managing solid waste systems relates to collection and transportation of wastes.

Method: In this paper we described municipal solid waste management system and dynamic modeling methodology. After that we reviewed the literature research about dynamic modeling of municipal solid waste management systems. In the next step, we illustrated a dynamic model for generation, collection and transportation of wastes in the city of Tehran. Then we analyzed the findings from the base run of model and examined that with validation tests to gain accredited model.

Discussion and Conclusion: After achieving a valid model the improved scenario have been built based on 3R techniques and policy and sensitivity analysis. In Tehran city, emphasis on reducing production and decreasing of per capita waste generation, awaken citizens and officials on necessity of separation wet and dry wastes in era and Effort to improving the performance of Dry waste separation plan are the best options to manage generation, collection and transportation wastes subsystems.

Keywords: Municipal Solid Waste, Tehran City, Valuable Dry Waste, Dynamic Modeling.

1- Associate Professor of Industrial Management ,Faculty of Management, Tehran Center Branch, Islamic Azad University
2- PhD student of Industrial Management, Faculty of Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University* (Corresponding Author).
3- Professor of Environment Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

زباله‌های خانگی، تجاری و صنایع کوچک تحت عنوان پسماندهای شهری قلمداد می‌گردند. ترکیب اصلی این پسماندها در کشورهای مختلف جهان تقریباً مشابه است، امّا میزان زباله تولیدی، تراکم و سهم هر بخش آن از کشوری به کشور دیگر و از شهری به شهر دیگر متفاوت می باشد. این تفاوت از توسعه اقتصادی، موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی و ملاحظات فرهنگی و اجتماعی نشأت می گیرد(۱).

مدیران شهری در کلیه کشورهای جهان با مساله مدیریت صحیح پسماندها مواجهند، درحالی که با افزایش جمعیت و درآمد سرانه شهروندان میزان تولید پسماندها در حال فزونی است. لذا در پیاده سازی سلسله مراتب مدیریت پسماندهای جامد شهری با تأکید بر روش 3R، مدیران اجرایی به دنبال بهبود سیستم مدیریتی، کاهش سریع حجم زباله (با کاهش و جلوگیری از تولید پسماند، بازمصرف، بازیافت‌مواد و بازیابی انرژی)،کاهش هزینه های پردازش و دفع پسماند ،از بین بردن خطر آلودگی آب‌های سطحی،کاهش میزان گازهای گل‌خانه‌ای کاهش میزان آلاینده های هوا وخاک و کاهش نیاز به زمین برای دفن با یک هزینه بهینه می باشند.

بسیاری از مسایلی که مدیران و تصمیم گیران با آن مواجه هستند ،ناشی از پیامدهای جانبی پیش بینی نشده عملکردها و تصمیم گیری های گذشته است. تصمیم گیری مؤثر و یادگیری در دنیایی از رشد پیچیدگی پویا، مدیران و مسوولان را وادار می‌سازد تا به عنوان اندیش‌مندانی سیستمی بتوانند مرزها و محدوده های مدل ذهنی[1] را گسترش داده و پیامدها و اثرات تصمیم های خود را قبل از وقوع پیش بینی نمایند(۲). از سوی دیگر برنامه ریزی برای مدیریت پسماندهای جامد شهری مستلزم پاسخ‌گویی به مباحث متعامل است و این مهم حاصل نمی گردد به جز با درک درست طبیعت پویای تعاملات بین عناصر سیستم. لذا با توجه به پیچیدگی و پویایی سیستم‌های شهری از جمله سیستم مدیریت مواد زاید جامد، مناسب‌ترین روش برای تحلیل سیستم، مدل‌سازی دینامیکی آن می باشد.

سیستم مدیریت پسماندهای جامد شهری

از دهه ۱۹۷۰ به بعد، روش های جایگزین دفن در زمین برای مواد زاید جامد شهری مطرح شد و اصلاح زمین های دفن گذشته و نیز مراقبت های بعد از دفع مورد توجه قرار گرفت. بنابراین عناصر موظف در سیستم‌های مدیریت پسماند جامد شهری از سه عنصر موظف " تولید، جمع آوری و دفن" در دهه ۱۹۴۰ به شش عنصر موظف " تولید، (ذخیره، پردازش و اداره در محل)، جمع آوری، حمل و نقل، پردازش، بازیافت و دفع" در دهه ۱۹۷۰ و به هشت عنصر موظف " کاهش در مبدأ، تولید، (ذخیره و پردازش و اداره در محل)، جمع آوری، حمل و نقل، پردازش، بازیافت، دفع و مراقبت های بعد از دفع " از دهه ۱۹۹۰ به بعد تبدیل شده است (۳).

مدیریت کارا و با کفایت زمانی اتفاق می افتد که عناصر موظف دارای روابط متقابل و قابل درک باشند. از طرفی عناصر و اجزای پشتیبان مدیریت پسماندها شامل فعالیت هایی است که برای تحقق اهداف سیستم مدیریت پسماندها باید انجام گیرد. این عناصر شامل سازمان‌دهی و تشکیلات، امور مالی، آموزش، روابط عمومی و غیره می باشد . جمع عناصر موظف و پشتیبان، سیستم مدیریت پسماندها را تشکیل می دهد (۴).

روش‌شناسی مدل‌سازی پویا

روش‌شناسی "پویایی‌های سیستم" در اواخر دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی توسط جِی دابلیو. فارستر در مؤسسه فن‌آوری ماساچوست توسعه یافت. در حقیقت این روش‌شناسی را می توان به عنوان "کاربرد اصول سیستم های کنترل بازخوری" و روش‌هایی برای مدل سازی، تحلیل و درک رفتار سیستم های پیچیده دانست. مدل سازی دینامیکی سیستم اصولاً مبتنی بر روابط علّی است. این روابط علّی در طول اجرای مدلی که به صورت رایانه‌ای شبیه سازی می‌شود، همواره با یک‌دیگر در ارتباط متقابل هستند و به این ترتیب، تعاملات پویای سیستم را شبیه سازی می کنند(۵).

روش‌شناسی‌های پویایی‌های سیستم از شش گام برای حل مسأله استفاده می‌کند که عبارتند از:۱.شناسایی و تعریف

1 - Mental Model

Archive of SID

www.SID.ir

مسأله، ۲.مفهوم سازی سیستم، ۳.صورت‌بندی مدل، ۴.شبیه-سازی و اعتبارسنجی مدل، ۵.تحلیل و بهبود سیاست و ۶.اجرای سیاست. روش‌شناسی مدل‌سازی دینامیکی در هر گام از فرایند حل مسأله از ابزارهای گوناگونی استفاده می نماید .برخی از این ابزارها عبارتند از نمودار زیرسیستم، جدول محدوده مدل، نمودارهای حلقه‌ی علّی و نقشه های انباشت-جریان (۵).

پیشینه تحقیقات انجام شده

در سال ۱۹۹۳ تحقیقی توسط پروفسور مشایخی درخصوص کاربرد روش‌شناسی سیستم داینامیک برای مدل‌سازی سیستم-های مدیریت پسماند جامد شهری درایالت نیویورک آمریکا انجام گرفته است. مدل پویا شامل ۳۸۰ معادله با ۲۱ متغیر سطح در نرم افزار DYNAMO است. پژوهش‌گر سه سیاست مختلف را در مدل مورد بررسی قرار می دهد .در نخستین سیاست، مدل فرض نموده است که دولت ایالتی به درخواست های کمک مالی به صورت سریع پاسخ می دهد. در سیاست دوم رفتار مدل در زمانی که درآمدهای محلی به صورت سریع تأمین می گردند (از محل هزینه های بالاترکاربران)، اما دریافت کمک های مالی ایالتی آهسته می باشد، آزمون شده است. در آخرین سیاست فرض براین است که بعد از سال ۱۹۹۰ نیروی منفی ناشی از آلودگی و هزینه دفع پسماند جامد باعث کاهش سرانه تولید زباله جامد خواهد گردید. هم چنین منابع مالی محلی به‌صورت سریع تأمین شده و کمک های مالی ایالتی آهسته دریافت می گردند (۶).

در انتهای مقاله پژوهش‌گر نتیجه گیری می نماید که اجرای هرسه سیاست نشان می دهد که دردست بودن منابع مالی مورد نیاز سیستم پسماند جامد باعث کاهش هزینه‌های بلند مدت می گردد، چرا که گزینه های کم هزینه تـر توسعـه مکان های دفع می‌توانند اجرا شده و تخلیه غیرقانونی زباله وجود نخواهد داشت (۶).

در سال ۱۹۹۷، Sudhir و همکاران یک مدل دینامیکی جهت درک طبیعت پویای تعادلات بین عناصر سیستم مدیریت مواد زاید جامد شهری در یک نمونه مادر شهر در کشور هندوستان ارایه نمودند .مدل ارایه شده در مقاله شامل سه زیرسیستم اصلی تولید پسماند، بازیافت غیررسمی و زیرسیستم رسمی است. شاخص های پایداری عبارتند از شاخص ترکیبی[1]، شاخص ضایعات مواد، هزینه ی آتی برای هر شهروند، به کارگیری نقش آفرینان در بخش غیر رسمی و گردش مالی بخش بازیافت غیر رسمی.

مدل در قالب ۲۶۰ معادله در نرم افزار DYNAMO شبیه سازی شده است. در این مقاله تست تقابل گزینه های خط مشی و ساختار انجام گرفته است. نگارندگان مقاله با بررسی سیاست های مختلف، ساختار HE[2] (سخت – متعادل) را به عنوان بهترین گزینه پیشنهاد می نمایند. این گزینه مقدار کم‌تر شاخص ترکیبی را به دنبال دارد که نشان دهنده سطح بهداشت عمومی بالاتر است، در حالی که نیازمند سرمایه‌گذاری کمتر بوده و تعداد بیش‌تری از زباله‌گردها را پشتیبانی می‌نماید. به عنوان یک گزینه‌ی برتر می‌توان سیستم دو بخشی اتخاذ نمود (به تفکیک مواد قابل بازیافت و مواد ارگانیک). در این روش با توجه به این‌که زباله‌گردی مقبولیت اجتماعی پایینی دارد و فعالیتی از سر استیصال است، به جای تشویق رسمی، به صورت تلویحی حمایت می گردد (۷).

در سال ۲۰۰۲ Karavezyris و همکاران از رویکرد سیستم داینامیک و منطق فازی برای مدل سازی سیستم مدیریت پسماند های جامد شهری در شهر برلین استفاده نمودند. مدل سیستم مدیریت پسماند، مدلی مفهومی و انتزاعی بوده و بر عوامل و فرضیه تعاملات بین آن‌ها تأکید دارد. این عوامل عبارتند از: رفتارزیست محیطی، قیمت پردازش زباله ،کمیت جمع آوری، پسماندهای بازیافت و پردازش شده و در نهایت کنترل و نظارت آن‌ها . مدل با استفاده از نرم افزار Vensim 3.0 رسم شده است. در این مقاله رفتار مدل تحت دو سیاست مختلف شبیه سازی شده است. دو شبیه سازی متفاوت برای دوره‌ی زمانی ۹۶ ماهه ارایه گردیده است که عبارتند از محدودیت هزینه پردازش و درصد بازیافت و تأثیرات رفتار زیست محیطی و نظارت بر بازیافت و دفع غیر قانونی(۸).

1- Composite Index
2- Hard-Equivalent

Archive of SID

www.SID.ir

نگارندگان با اجرای سیاست اول نتیجه می‌گیرند درصورتی که هزینه‌های پردازش پسماند از یک حد بحرانی فراتر رود، آگاهی[1] به یاری طلبیده می‌شود که خود بهبود رفتار را فعال می نماید. در سیاست دوم تغییرات در رفتار زیست محیطی به تنظیمات در پارامتر بازیافت منتج می‌شود. در این سیاست درصد بازیافت در بیش تر دوره زمانی ثابت می ماند (۴۰ درصد زباله جمع آوری شده) و تنها در انتهای افق زمانی کاهش کمی را نشان می‌دهد. هم‌چنین دفع غیر قانونی در اواسط دوره زمانی به صفر نزول می یابد که بـه عنـوان نتیجه ای از نظارت و کنترل دقیق تر است (۸).

Dyson و Chang در سال ۲۰۰۵ مدل‌های پویای سیستم را برای پیش‌بینی میزان تولید پسماند جامد در یک سکونت‌گاه شهری با پتانسیل زیاد رشد اقتصادی توسعه دادند. اجرای کاربردی روش در شهر سن‌آنتونیو تگزاس ارزیابی شده است . این شهر یکی از مناطق دارای رشد سریع در آمریکای شمالی است که متأثر از پیمان اقتصادی NAFTA [2] می باشد (۹).

پیش بینی تولید پسماندهای جامد شهری برمبنای عوامل مؤثری از قبیل رشد جمعیت، درآمد خانوار، جمعیت هرخانوار و فعالیت اقتصادی برآورد می گردد. در این مقاله میزان تناژ زباله تولیدی بر اساس متغیرهای توصیفی میانه درآمد خانوار، جمعیت و متوسط تعداد افراد هرخانوار برای چهار ناحیه خدماتی در شهر سن آنتونیو با استفاده از بسته نرم افزاری STELLA مدل‌سازی شده است(۹).

در این پژوهش میزان تخمینی پسماند تولیدی برای هرمرکز خدماتی با استفاده از پنج مدل شبیه سازی شده است. هر مدل تولید مواد زاید جامد را بر حسب (تن در سال) به عنوان تابعی از عوامل ذکر شده شبیه سازی کرده است. مدل های یک و دو متمایل به تولید جهش های کم‌تر بوده و مدل چهار و پنج تمایل به ایجاد جهش های بزرگ‌تر دارند . پنج مدل برنامه ریزی شده در این مطالعه بر پایه انواع مختلف مدل های دینامیکی سیستم درنظرگرفته شدند ،در حالی که مدل مبنا بر اساس آنالیز رگرسیون سنتی طراحی گردیده بود. درخاتمه نگارندگان نتیجه می گیرند تنها مدلی که تمامی عوامل مؤثر از قبیل جمعیت ، تعداد افراد خانوار، درآمد هر خانوار و فعالیت اقتصادی را دربرمی‌گیرد مدل شماره یک است که به بهترین شکل پویایی سیستم را منعکس می نماید(۹).

در سال ۲۰۰۷، Sufian و Bala در پژوهشی سیستم مدیریت پسماندهای جامد شهری را مدل سازی نمودند که قابلیت تخمین میزان تولید زباله ی جامد، ظرفیت جمع آوری و پتانسیل تولید انرژی الکتریکی از پسماند جامد را برای شهر داکا در کشور بنگلادش داشت . نقشه انباشت-جریان[3] سیستم مدیریت مواد زاید جامد شهری در شهر داکا با نرم افزار STELLA رسم شده است. با اجرای مدل دینامیکی پژوهش-گران در می‌یابند که میزان تولید پسماند با افزایش جمعیت، تولید ناخالص ملی[4] (GDP) و سرانه ی درآمد فزونی می‌یابد (۱)، هر چند که پتانسیل تولید انرژی الکتریکی از پسماندهای جامد هم افزوده می‌گردد. از سوی دیگر شاخص ترکیبی[5]، کمبود در جمع آوری زباله (زباله جمع آوری نشده) را نشـان می دهد . در ادامه مقاله، پژوهش‌گران دوگزینه سیاست مختلف را در مدل بررسی نموده و نتیجه گیری می کنند که تولید پسماند جامد، ظرفیت جمع آوری و پتانسیل تولید برق از زباله در شهر داکا در طول زمان در حال افزایش است . اتخاذ سیاست بازیابی انرژی الکتریکی از پسماندهای جامد شهری به وسیله اقتصاد تکنولوژی تولید برق و سطح پیامدهای زیست محیطی نامطلوب آن دیکته می گردد. با روند جاری اختصاص بودجه به مدیریت پسماندهای جامد شهری در شهر داکا مدیریت صحیح زباله ناممکن است و بودجه بیش‌تری جهت جبران کسری تعداد کامیون ها و برآوردن هزینه جمع آوری زباله های تولیدی مورد نیاز است. هم‌چنین افزایش ظرفیت جمع آوری به تنهایی قادر به بهبودکیفیت زیست محیطی نبوده و لازم است تخصیص بودجه برای جمع آوری و پردازش پسماندها هم زمان افزایش یابند (۱).

1- Awareness
2- North American Free Trade Agreement
3- Stock-Flow Diagram
4- Gross Domestic Production
5- Composite Index

Archive of SID

www.SID.ir

روش بررسی

در این مقاله با استفاده از مدل‌سازی دینامیکی و ابزارهای مرتبط سعی خواهیم نمود، یک مدل شبیه سازی پیوستهِ پویا برای زیرسیستم های تولید، جمع آوری و حمل پسماندهای جامد شهری در کلان شهر تهران ارایه نماییم . با کمک این مدل پویا قادر خواهیم بود میزان تولید پسماندهای جامد، وضعیت تفکیک پسماندها در مبدأ تولید، عملکرد طرح تفکیک پسماندهای خشک در مبدأ، ظرفیت جمع آوری و حمل پسماندها به مجتمع بازیافت و دفع آرادکوه را در یک افق زمانی چهارده ساله پیش بینی نموده و راه کارهای مناسبی جهت استقرار روش 3R و مدیریت بهینه پسماندها ارایه نماییم.

بیان مساله

شهر تهران شامل ۲۲ منطقه شهرداری می باشد که از لحاظ وسعت، جمعیت و متوسط درآمد سرانه شهروندان متفاوت می-باشند. در این مقاله سیستم های تولید ،جمع آوری و حمل پسماندهای جامد شهری در شهر تهران با در نظر گرفتن داده-های سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۷ مورد بررسی قرار گرفته است . این سه سیستم به عنوان بخشی از سیستم کلان‌تر مدیریت زباله جامد در شهر تهران است.اطلاعات جمعیت شهر از سرشماری سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ مرکز آمار ایران و داده‌های مربوط به پسماندهای جامد شهری از پایگاه سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران، آمارها و مستندات موجود در این سازمان و مصاحبه با کارشناسان ذیربط اتخاذ شده است.

طبق سرشماری سال ۱۳۷۵ مرکز آمار ایران، جمعیت شهر تهران(مناطق بیست گانه) ۶۷۵۸۸۴۵ نفر بوده است(۱۰) که این تعداد شهروندان، میزان ۲۱۲۶۶۴۵ تن پسماند جامد شهری تولید کرده اند(۱۱) . در سرشماری سال ۱۳۸۵ جمعیت مناطق ۲۲ گانه شهر تهران ۷۷۹۷۵۲۰ نفر اعلام شده است(۱۰) که پسماند تولیدی این شهروندان، بالغ بر ۲۵۵۶۷۲۵ تن بوده است(۱۱).میزان تولید زباله با افزایش جمعیت شهر در حال فزونی است و این خود گواهی بر لزوم مدیریت صحیح و بهینه پسماندها می‌باشد. از میزان ۲۵۴۷۵۹۴ تن زباله تولیدی شهروندان در سال ۱۳۸۶ ،چهار درصد آن (۹۵۲۹۱ تن) به صورت پسماند خشک ارزش‌مند در مبدأ تولید تفکیک شده و مابقی به فرآیند پردازش و دفع وارد شده است. ۹۰ درصد آن به صورت دفن در زمین انهدام یافته و بازیابی و استحصال انرژی صفر درصد بوده است (۱۲) و (۱۳).

شناسایی متغیرهای اصلی

به آن دسته از متغیرها و مفاهیمی که برای درک مساله و طراحی سیاست های لازم برای حل آن مهم به نظر می‌رسند ، متغیرهای اصلی اطلاق می‌گردد. در این بخش به تشریح متغیرهای اصلی انباشت سیستم اکتفا نموده و توضیح سایر متغیرها را به جدول محدوده مدل واگذار می نماییم:

- جمعیت شهر: متغیری برون زا[1] بوده و نشان دهنده میزان جمعیت شهر در سال است . واحد شمارش آن نفر است.

- پسماند جامد شهری: این متغیر درون زا[2] بوده و مجموع پسماندهای مخلوط خانگی و پسماندهای خشک جمع آوری شده در طرح تفکیک در مبدأ را شامل می گردد . واحد اندازه گیری آن بر حسب تن می باشد.

- پسماند خشک جمع آوری شده در ایستگاه ها: متغیری درون زا است که نشان‌گر میزان زباله خشک ارزش‌مند جمع آوری شده (بر حسب تن) در ایستـــگاه‌هـای انتقال ۲۲ گانه می باشد. این متغیر عملکرد طرح تفکیک زباله در مبدأ و میزان مشارکت شهروندان تهرانی در این طرح را خاطرنشان می سازد.

- پسماند مخلوط جمع آوری شده در ایستگاه های انتقال: این متغیر درون زا بوده و واحد شمارش آن بر حسب تن است. میزان آن از مجموع اوزان زباله باسکول شده در ۱۱ ایستگاه انتقال محاسبه می گردد.این متغیر عملکرد و بهره وری سیستم جمع آوری زباله های خانگی در شهر را نشان می دهد.

- ظرفیت جمع آوری پسماند مخلوط: این متغیر درون زا بوده و واحد شمارش آن تن می باشد. میزان آن نشان دهنده ظرفیت و توان سیستم در جمع آوری پسماندهای جامد شهری است که شهروندان روزانه در سطل های زباله قرار می دهند.

- ظرفیت انتقال پسماند : متغیری درون‌زا است که واحد شمارش آن تن می باشد .میزان آن نشان دهنده توانایی سیستم

1- Exogenous
2- Endogenous

Archive of SID

www.SID.ir

در حمل زباله های جمع شده در ایستگاه‌های انتقال به مجتمع پردازش و دفع آرادکوه است.

- پسماند مخلوط منتقل شده به مجتمع: این متغیر درون‌زا بوده و واحد شمارش آن بر حسب تن است . میزان آن از مجموع اوزان زباله باسکول شده در مجتمع پردازش و دفع آرادکوه محاسبه می‌گردد. این متغیر عملکرد و بهره وری سیستم حمل زباله‌های خانگی در شهر را نشان می دهد (۱۳).

افق زمانی[1]

افق زمانی برای نشان دادن چگونگی ایجاد مساله و توصیف نشانه های آن، باید به اندازه کافی در طول تاریخ بسط داده شود . هم‌چنین لازم است به میزان کافی درآینده گسترش یابد تا اثرات به تأخیر افتاده و غیرمستقیم سیاست های بالقوه مشخص شود. افق زمانی در پژوهش پیش رو سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۹ می باشد. سال مبنا در مدل سال ۸۶ است(۱۳).

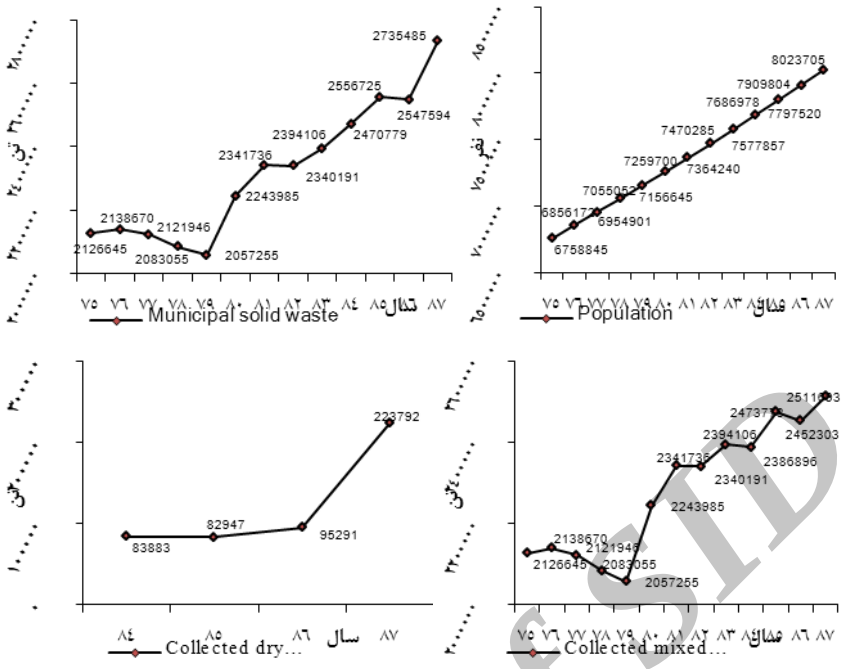
الگوهای مرجع[2]

مدل سازان پویایی شناسی سیستم، درصدد توصیف مساله به صورت پویا هستند، به این معنی که مساله به صورت یک الگوی رفتاری طی زمان آشکار می‌شود. یک الگوی مرجع نشان دهنده رفتار مساله طی زمان می باشد و به مدل ساز کمک می نماید دیدگاه جهانی پدیده مداری کوتاه مدت حوادث را که بیش‌تر مردم دارا هستند اصلاح نماید. در نمودار(۱) الگوهای مرجع برای متغیرهای اصلی که در درک مساله و طراحی و ارایه سیاست ها لازم به نظر می رسند، رسم شده اند. نمودارها با توجه به داده های موجود در سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران برای سال‌های ۸۴، ۸۵، ۸۶ و۸۷ رسم شده‌اند. درموارد اندکی که اطلاعات از سال ۷۵ موجود بوده مقیاس زمانی سال‌های ۷۵ تا ۸۷ در نظر گرفته شده است. کلیه مقادیر در مقیاس سالیانه می باشند(۱۳).

1- Time horizon
2- Reference modes

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار۱- الگوهای مرجع متغیرهای اصلی(۱۳).

Diagram1- Key Variables Reference Modes(13)

مفهوم سازی سیستم

پویایی شناسی سیستم شامل گونه‌ای از ابزارهاست تا مدل‌ساز را در برقراری ارتباط با مرز مدل و ارایه ساختار علّی آن یاری رساند. سیستم مدیریت پسماندهای جامد شهر تهران شامل پنج زیرسیستم اصلی است. این زیرسیستم ها عبارتند از: ۱.تولید پسماند جامد شهری،۲.جمع آوری و انتقال، ۳. پردازش و دفع، ۴. مراقبت های بعد از دفع و ۵.مدیریت مالی. هرکدام از این زیرسیستم ها خود دارای بخش‌های دیگری می باشند که باهم در تعامل بوده و کارکرد آن ها با هم عمکرد کلی سیستم را نمایش می دهد. در این مقاله ما به بررسی زیرسیستم های تولید، جمع آوری و انتقال پسماند جامد شهری اکتفا می‌نماییم. در جدول (۱) متغیرهای مدل ارایه شده اند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۱- محدوده مدل(۱۳).

Table 1-Model Boundary(13)

ردیف	نام متغیر	نوع متغیر	واحد شمارش	زیر سیستم مربوطه
۱	نرخ رشد جمعیت	نرخ	درصد	تولید پسماند
۲	جمعیت شهر	انباشت	نفر	تولید پسماند
۳	نرخ تولید پسماند	نرخ	تن	تولید پسماند
۴	پسماند جامد شهری	انباشت	تن	تولید پسماند
۵	سرانه تولید پسماند	کمکی	تن	تولید پسماند
۶	نرخ جمع آوری پسماند خشک در مبدأ	نرخ	تن در سال	جمع‌آوری پسماند خشک
۷	پسماند خشک جمع آوری شده در ایستگاه-های بازیافت	انباشت	تن	جمع‌آوری پسماند خشک
۸	ظرفیت جمع آوری پسماند مخلوط	انباشت	تن	جمع‌آوری پسماند مخلوط
۹	نرخ جمع آوری پسماند مخلوط	نرخ	تن در سال	جمع‌آوری پسماند مخلوط
۱۰	پسماند مخلوط جمع آوری شده در ایستگاه-های انتقال	انباشت	تن	جمع‌آوری پسماند مخلوط
۱۱	ظرفیت حمل پسماند مخلوط	انباشت	تن	حمل پسماند مخلوط
۱۲	نرخ حمل پسماند مخلوط	نرخ	تن در سال	حمل پسماند مخلوط
۱۳	پسماند مخلوط منتقل شده به مجتمع	انباشت	تن	حمل پسماند مخلوط

نمودارحلقه‌ی علّی

هدف اصلی نمودارهای حلقه‌ی علّی نشان دادن فرضیه های علّی در هنگام مدل‌سازی است تا از این طریق، ساختار به شکل کامل و به هم پیوسته بیان شود . سلسله مراتب عناصر بازخوری در نمودار حلقه‌ی علّی عبارتند از : متغیرها،پیوندهای‌علّی، حلقه های بازخوری علّی و سیستم بازخوری(۵).

تأثیر متغیری به متغیر دیگر ممکن است مثبت یا منفی باشد. این تأثیر را می توان با علامت (+) یا (-) بر روی کمان پیوند علّی نشان داد . قواعد تعیین علامت پیوندهای علّی عبارتند از :

۱) با فرض ثابت ماندن سایر متغیرها : اگر تغییر در یک متغیر، متغیر دیگر را درهمان جهت تحت تأثیر قرار دهد، در این صورت گفته می‌شود که این رابطه علّی مثبت است .

۲) با فرض ثابت ماندن سایر متغیرها : اگر تغییردر یک متغیر، متغیر دیگر را درجهت مخالف تحت تأثیر قرار دهد،در این صورت گفته می‌شود که این رابطه علّی منفی است (۵).

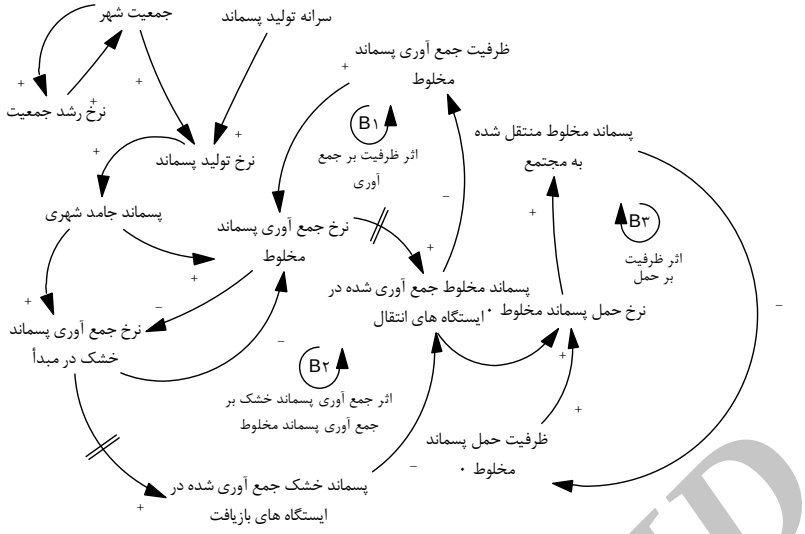
در نمودارهای حلقه‌ی علّی همان طور که پیوندهای علّی علامت‌های (+) یا (-) دارند ،حلقه های بازخوری نیز دارای قطبیت (+) یا (-) هستند . بر اساس قاعده‌ی تجربی اگر تعداد پیوندهای (-) در حلقه ی بازخوری صفر یا زوج باشد ، قطبیت آن حلقه مثبت و اگر تعداد پیوندهای (-) درحلقه ی بازخوری فرد باشد ، قطبیت حلقه منفی خواهد بود. حلقه‌های با قطبیت مثبت تقویت کننده[1] (R) حلقه های با قطبیت منفی متعادل-کننده[2] (B) می باشند(۵).

در شکل (۱) نمودار حلقه‌ی علّی سیستم نشان داده شده است.

1- Reinforcing
2- Balancing

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱ - نمودار حلقه‌ی علّی مدل(۱۳).

Figure1- Model Casual Loop Diagram(13)

سه حلقه بازخوری منفی (متعادل کننده) در نمودار قابل مشاهده است.

مدل‌سازی سیستم

مدل‌سازی سیستم شامل تهیه نقشه‌های انباشت –جریان و وارد نمودن معادلات ریاضی در آن است. انباشت‌ها و جریان‌ها به همراه بازخور دو مفهوم اصلی در تیوری سیستم‌های پویا به شمار می آیند . منظور از انباشت در واقع همان تجمعات است . انباشت‌ها نشان دهنده وضعیت سیستم و حاوی اطلاعاتی هستند که براساس آن تصمیمات اتخاذ و اقداماتی صـــورت می‌گیرد(۲).

علایم مورد استفاده در رسم نمودارهای انباشت – جریان عبارتند از :

– انباشت ها با یک مستطیل نشان داده می شوند .

– جریان های ورودی با یک لوله (و یا یک فلش) که به سمت انباشت جهت گیری شده است ، نشان داده می شوند.

– جریان های خروجی با یک لوله که از انباشت خارج می‌شود (از انباشت کسر می گردد) نشان داده می شوند .

– سوپاپ ها[1] کنترل کننده جریان ها هستند.

– ابرها[2] نشان دهنده منابع و مقصدهای جریان هستند (۲).

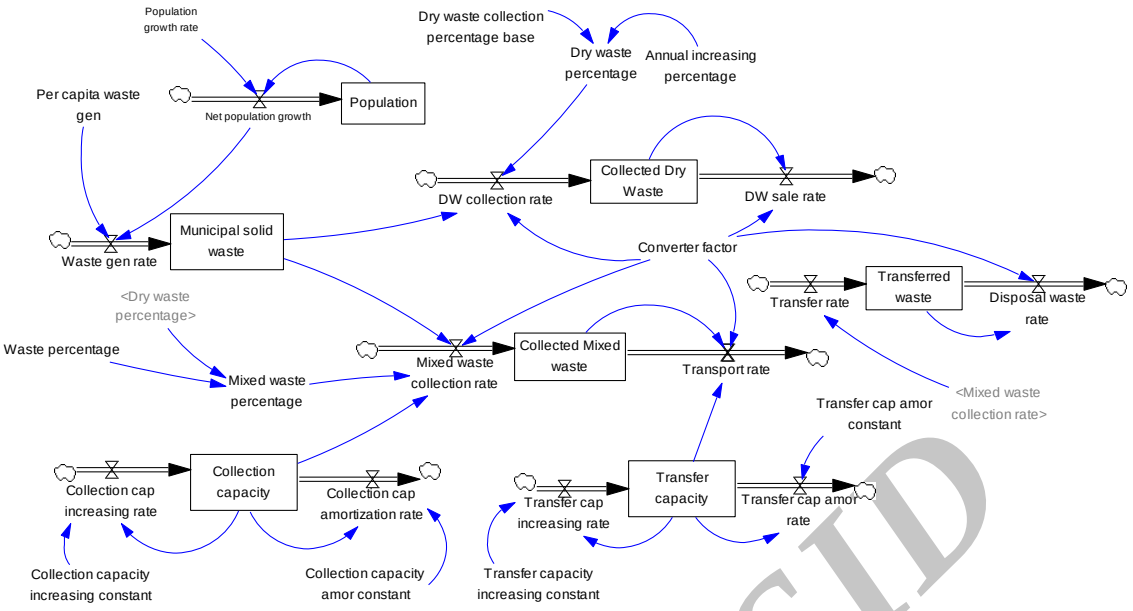
مدل دینامیکی سیستم در محیط شبیه سازی Vensim PLE تهیه شده است .این مدل دارای هفت متغیر سطح (انباشت) و ۳۱ معادله ریاضی می باشد. سال مبنا در مدل-سازی سال ۱۳۸۶ فرض شده است. افق زمانی شبیه سـازی سال های ۸۶ تا ۹۹ می باشد.در شکل (۲) نقشه انباشت-جریان سیستم ارایه شده است.

1-Valves

2-Clouds

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- نقشه انباشت –جریان مدل(۱۳).

Figure2- Model Stock-Flow Diagram(13)

نتایج

در بخش نتایج ابتدا اجرای شبیه سازیِ مبنا را تحلیل نموده و سپس به نتایج آزمون‌های اعتبارسنجی مدل به اجمال اشاره می‌نماییم.

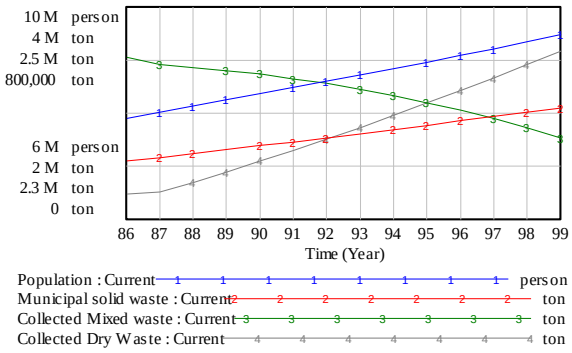
اجرای شبیه سازیِ مبنا

جهت بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی سیستم ، مدل را در محیط شبیه سازی Vensim PLE اجرا نموده و نتایج را بررسی نمودیم.در نمودار (۲) الگوی رفتار شبیه سازی شده چهار متغیر جمعیت، پسماند جامد شهری، پسماند خشک جمع آوری شده و پسماند مخلوط جمع آوری شده در اجرای مبنا به طور هم‌زمان نشان داده شده است. از نمودار مطالب زیر استخراج می‌گردد:

جمعیت شهر تهران از ۷۹۰۹۸۰۰ نفر در سال ۱۳۸۶ به ۹۴۷۶۷۰۰ در سال ۱۳۹۹ می رسد که روند افزایشی دارد..این جمعیت به طور مستمر زباله تولید می نمایند، درنتیجه متغیر پسماند تولیدی شهر تهران در افق شبیه سازی روند افزایشی دارد.بر طبق نمودار (۲) میزان این متغیر از ۲۵۴۷۵۹۴ تن در سال ۱۳۸۶ به ۳۰۵۲۱۴۰ تن در سال ۱۳۹۹ می رسد که رشد افزایشی با شیب کم دارد. ازطرفی، متغیر پسماندهای خشک جمع آوری شده در قالب طرح تفکیک از مبدأ در افق شبیه سازی در حال بهبود است.درصد تفکیک در مبدأ پسماندهای خشک از کل پسماند جامد شهری در شهر تهران (مناطق ۲۲ گانه) از ۴ درصد در سال ۱۳۸۶ به ۲۲ درصد در سال ۱۳۹۹ می رسد. هم‌چنین میزان پسماند خشک جمع آوری شده در سال مبنا ۹۵۲۹۱ تن بوده که این عدد در سال ۱۳۹۹ به ۶۳۳۳۰۷ تن می رسد. (۱۳).

Archive of SID

www.SID.ir

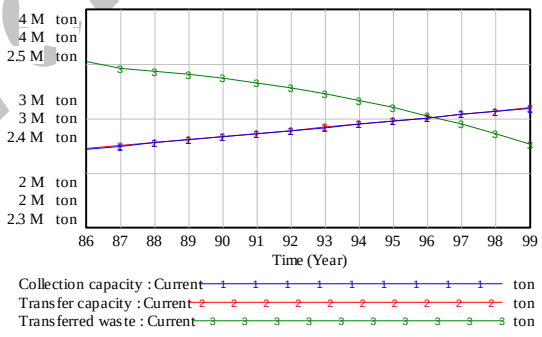


نمودار۲- اجرای مبنای چهار متغیر جمعیت،پسماند جامد ، پسماند خشک و پسماند مخلوط جمع آوری شده (۱۳).

Diagram 2-Base Run Of Pupulation, Solid Waste,Dry Waste and Mixed Waste Variables(13)

پسماندهای مخلوط در مدل با عنوان Collected Mixed Waste ذکر شده است .میزان این متغیر در سال مبنا ۲۴۵۲۳۰۳ تن بوده که به ۲۳۷۶۷۱۰ تن در سال ۱۳۹۹ کاهش یافته است .علت کاهش این متغیر بهبود عملکرد طرح تفکیک در مبدأ بوده که باعث کاهش درصد پسماند مخلوط از ۹۶ درصد به ۷۷.۵ درصد شده است (۱۳).

در نمودار (۳) الگوی رفتار شبیه سازی شده سه متغیر ظرفیت جمع آوری ،ظرفیت حمل و پسماند مخلوط حمل شده به مجتمع نشان داده شده است. میزان متغیرهای ظرفیت جمع-آوری پسماند مخلوط و انتقال آن‌ها به ایستگاه‌های انتقال یازده‌گانه و ظرفیت حمل پسماندها به مجتمع با شیب کم در حال افزایش است. هم‌چنین رفتار متغیر پسماند مخلوط حمل شده به مجتمع که نشان دهنده میزان پسماند جامد مخلوطی است که جهت پردازش و دفع به مجتمع آرادکوه منتقل می-گردد و در این نمودار به نمایش گذاشته شده است. میزان این متغیر از ۲۴۵۲۳۰۳ تن در سال ۱۳۸۶ به ۲۳۷۶۷۱۰ تن در سال ۱۳۹۹ کاهش می یابد. الگوی رفتار آن مشابه متغیر پسماند مخلوط جمع آوری شده در ایستگاه های انتقال است(۱۳).



نمودار ۳- اجرای مبنای سه متغیر ظرفیت جمع آوری ،ظرفیت حمل وپسماند مخلوط حمل شده(۱۳).

Diagram3- Base Run Of Collection Capacity, Transfer Capacity ,Transferred Waste Variables(13)

اعتبارسنجی مدل

هدف نهایی فرآیند اعتبار سنجی در سیستم داینامیک، اطمینان از صحت رفتار ساختاری مدل در عین توجه به فرآیند مدل-سازی است. با توجه به این که مدل‌های سیستم داینامیک قصد دارند تا در مورد پیامدهای دراز مدت هر سیاست تحلیلی ارایه نمایند، لذا در اعتبارسنجی به جای آن که تمرکز بر روی پیش

Archive of SID

www.SID.ir

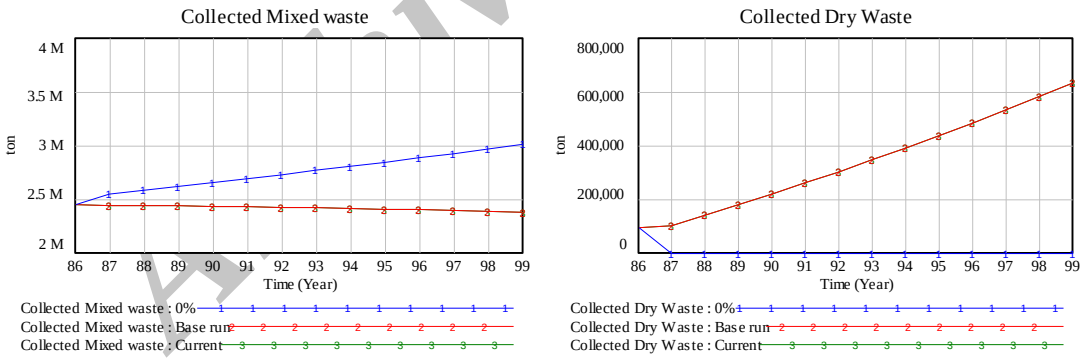
بینی نقطه به نقطه مقداری متغیرها باشد، باید بر میزان تولید رفتار ساختارهای سیستم متمرکز شد (۱۴).

آزمون های مرتبط با مدل های پویایی های سیستم را می توان در قالب آزمون های ساختار مدل، رفتار مدل و مضامین سیاست‌های مدل دسته بندی کرد .(۵)

در خصوص مدل دینامیکی سیستم های تولید ، جمع آوری و حمل پسماندهای جامد شهر تهران، آزمون های اعتبارسنجی از قبیل تأیید ساختار ،کفایت مرز، سازگاری ابعادی، شرایط حدّی، تأیید پارامترها، بازتولید رفتار، رفتار نامتعارف، عضو خانواده، رفتار غافلگیرکننده، پیش بینی رفتار، پیش بینی رفتار تغییر یافته و بهبود سیستم انجام گرفته است. در این مجال مختصر به بررسی آزمون شرایط حدّی می‌پردازیم.خواننده محترم جهت آشنایی بیش‌تر با آزمون‌های اعتبارسنجی مدل می تواند به منبع شماره (۱۳)مراجعه نماید.

مدل باید در شرایط حدّی محکم و مقاوم باشد، یعنی در شرایط حدّی رفتار واقعی داشته باشد.در این تست مقادیر حدّی برای برخی از پارامترهای مدل تعیین شده و سپس رفتار تولید شده توسط مدل با رفتار مشاهده شده از سیستم واقعی مقایسه می گردد.در واقع در نقاط حدّی مدل نباید رفتار غیرمعمولی از خود بُروز دهد(۱۴).

جهت انجام این آزمون، درصد تفکیک پسماند خشک ارزش‌مند در مبدأ را صفر قرار داده (عملکرد طرح تفکیک صفر باشد) و نتایج این تغییر سیاست در مدل را شبیه سازی می‌نماییم. همان‌طور که در نمودار (۴-ب) مشاهده می‌شود ، با صفر شدن درصد جداسازی پسماند خشک در مبدأ، میزان انباشت متغیر پسماند خشک به صفر می‌رسد. هم‌چنین الگوی رفتاری متغیر پسماند مخلوط جمع آوری شده از حالت کاهشی به افزایشی تغییر می یابدکه رفتاری متعارف می باشد(نمودار۴-الف).



(الف) (ب)

نمودار ۴- الگوی شبیه سازی شده رفتار متغیرهای Collected Dry & Mixed Waste با تغییر پارامتر درصد جداسازی پسماند خشک در مبدأ از ۰/۰۴ به صفر(۱۳).

Diagram4- Simulated Behavior Of Collected Dry & Mixed Waste Variables By Changing Of Collection Dry Waste Percentage Of 0.04 Up To Ziro(13)

تفسیر نتایج

مدل‌های پویایی‌های سیستم با گذر از مراحل مختلف مفهوم سازی، صورت‌بندی، آزمایش، مفهوم سازی مجدد و اصلاح و پالایش به صورت رفت و برگشتی ایجاد می شوند.پس از این‌که مدلی رضایت بخش به دست آمد و با استفاده از آزمون‌های مختلف مورد بررسی و تعیین اعتبار قرار گرفت ،باید در معرض

Archive of SID

www.SID.ir

تحلیل حساسیت و سیاست[1] که آخرین هدف مدل سازی است، قرار گیرد(۵).

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت، سازوکاری برای ایجاد یقین در تحلیل های مبتنی بر مدل و سیاست های پیشنهادی است.تحلیل حساسیت به این سوال پاسخ می دهد که "مدل تا چه حد نسبت به تغییر در مقادیر پارامترها و تغییرات جزیی آشکار در ساختار مدل حساسیت دارد؟" (۵).

در مدل دینامیکی سیستم‌های تولید ،جمع آوری و حمل پسماندهای جامد شهر تهران می‌خواهیم با تغییر مقادیر پارامترهای مؤثر بر مقدار پسماند خشک جمع آوری شده در مبدأ، حساسیت آن را تست نماییم.

متغیرهای تأثیرگذار عبارتنداز:

- نرخ رشد جمعیت (Population growth rate).
- سرانه تولید پسماند (Per capita waste gen).
- درصد جمع آوری پسماند خشک در مبدأ (Dry waste percentage).

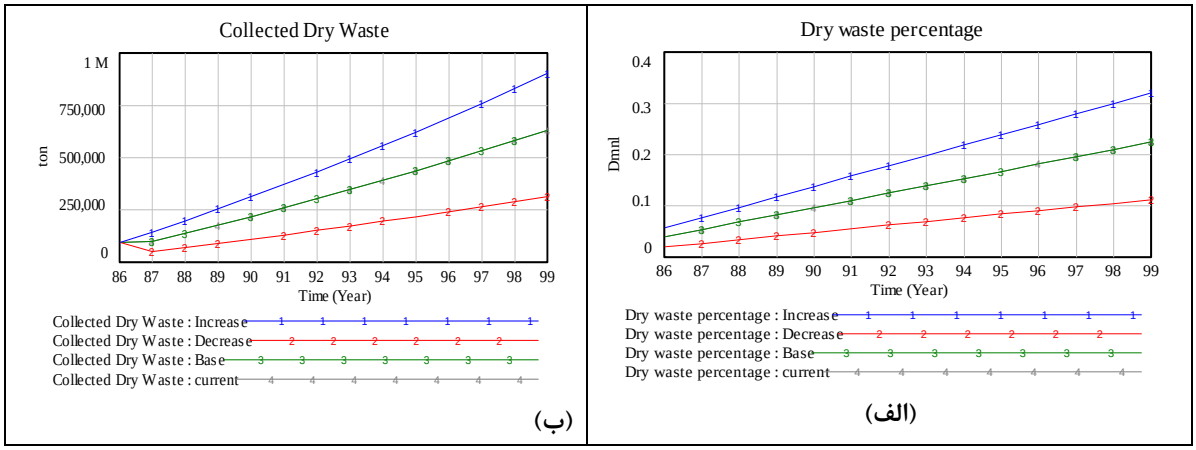
از آن‌جایی که تغییر نرخ رشد جمعیت شهر خارج از دست مدیران پسماند شهر تهران است نمی توان این متغیر را در تحلیل حساسیت بررسی نمود. سرانه تولید پسماند را می‌توان با فرهنگ سازی و آموزش‌های شهروندی کاهش داد، امّا به دلیل آن‌که تغییر سرانه تولید پسماند مستلزم اصلاح الگوی مصرف می باشد لذا نیازمند همکاری تمامی ارگان‌های مربوط است و مدیریت پسماند شهر که بر عهده سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران است تنها بخشی از مسوولیت را بر عهده دارد .بنابراین از آن‌جایی که نقش مدیریت پسماند شهر در تغییر پارامتر درصد جمع آوری پسماند خشک در مبدأ بیش‌ترین است، لذا حساسیت متغیر سطح پسماند خشک جمع آوری شده در مبدأ را نسبت به تغییرات این پارامتر در دامنه موجه خود بررسی می‌نماییم.دو متغیر بر درصد جمع آوری پسماند خشک در مبدأ مؤثر هستند، اول درصد پایه جمع آوری پسماند خشک و دیگری ضریب افزایش سالیانه آن.

-تحلیل حساسیت میزان انباشت پسماند خشک جمع آوری شده در مبدأ با تغییر پارامتر درصد پایه جمع آوری پسماند خشک: در مدل مقدار پارامتر ۰/۰۴ در نظر گرفته شده است .با توجه به گزارشات سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران درصد پسماندهای غیر تر (خشک +دفنی) در مبدأ تولید برابر با ۳۹ درصد کل پسماند تولیدی است (۱۵). با در نظر گرفتن ۷ درصد برای پسماندهای دفنی و غیرارزش‌مند، می‌توان ۰/۳۲ را به عنوان ضریب حداکثری تفکیک پسماندهای خشک ارزش‌مند در مبدأ در نظر گرفت. لذا پارامتر درصد پایه جمع آوری پسماند خشک در قالب طرح تفکیک با فرض ثابت بودن ضریب افزایش سالیانه (تابع RAMP با شیب ۰/۳۵۵) می تواند دامنه ای بین صفر تا ۰/۰۵۷ داشته باشد. با در نظر گرفتن عدد ۰/۰۵۷ برای این پارامتر مقدار متغیر درصد پسماند خشک (Dry waste percentage) در انتهای افق شبیه سازی به۰/۳۲ می‌رسد .یعنی در سال ۱۳۹۹ ،کلیه پسماندهای خشک ارزش‌مند در مبدأ تولید تفکیک می شوند.

1 - Policy & Sensitivity Analysis

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار ۵- الگوی شبیه سازی رفتار متغیر پسماند خشک با تغییر پارامتر درصد پایه جمع آوری(۰/۰۲ و ۰/۰۵۷)(۱۳).

Diagram5-Simulated Behavior Of Collected Dry Waste Variable By Changing The Parameter Of Collection Base Percentage (0.02,0.057)(13)

ابتدا مقدار پارامتر را به۰/۰۲ کاهش می دهیم ، مدل را اجرا نموده و نتیجه شبیه سازی مدل برای انباشت پسماند خشک جمع‌آوری شده را بررسی می‌نماییم. سپس مقدار پارامتر درصد پایه جمع آوری پسماند خشک را به ۰/۰۵۷ افزایش می دهیم و اثر آن را بر متغیر سطح تحلیل می‌کنیم.

در اجرای مبنا (روند ۳ در نمودار۵-ب) انباشت پسماند خشک جمع آوری شده از میزان ۹۵۲۹۱ تن در سال ۱۳۸۶ به ۶۳۳۳۰۷ تن در سال ۱۳۹۹ می رسد.با کاهش درصد پایه جمع آوری پسماندخشک به ۲ درصد (روند ۲ نمودار۵-الف) و میزان کل پسماند خشک جمع آوری شده در سال ۱۳۹۹ به ۳۱۶۶۵۳ تن نزول می یابد.از سوی دیگر با افزایش پارامتر مورد نظر به ۰/۰۵۷ (روند ۱ نمودار۵-الف) ،میزان انباشت پسماند خشک به ۹۰۲۴۶۲ تن در سال ۱۳۹۹ می رسد (روند ۱ نمودار ۵-ب)(۱۳).

در این مجال به طور مختصر به یک مورد تحلیل حساسیت اکتفا نموده و از خوانندگان مشتاق دعوت می‌نماییم جهت اطلاع از سایر تحلیل‌های حساسیتی مدل به منبع شماره ۱۳مراجعه نمایند.

تحلیل سیاست

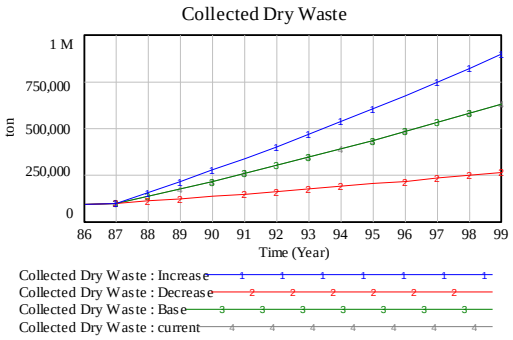
در مدل پویایی‌های سیستم برخی از پارامترها را می توان تحت عنوان پارامترهای سیاستی[1] طبقه بندی نمود. این پارامترها، پارامترهایی هستند که تصمیم‌گیران، در سیستم های واقعی بر روی آن‌ها کنترل دارند. یک پارامتر سیاستی حساس نشان دهنده نقطه‌ی اهرمی در سیستم واقعی است که به منظور بهبود رفتار سیستم مربوط، می توان از آن استفاده کرد (۵).

در مدل دینامیکی سیستم ما، ضریب افزایش سالیانه درصد پایه جمع آوری پسماند خشک در مبدأ یک پارامتر سیاستی می باشد که تصمیم سازان قادرند با تغییر آن رفتار سیستم را بهبود نمایند. در این تحلیل سیاست ، پارامتر درصد پایه جمع آوری پسماند خشک را ثابت فرض نموده و ضریب افزایش سالیانه درصد تفکیک پسماند خشک را با تغییر شیب تابع RAMP تغییر می‌دهیم. ابتدا شیب تابع را از مقدار پایه ۰/۳۵۵ به ۰/۱ کاهش می دهیم و نتیجه را مشاهده می‌نماییم. سپس شیب را به میزان ۰.۵۴ افزایش می‌دهیم (۱۳).

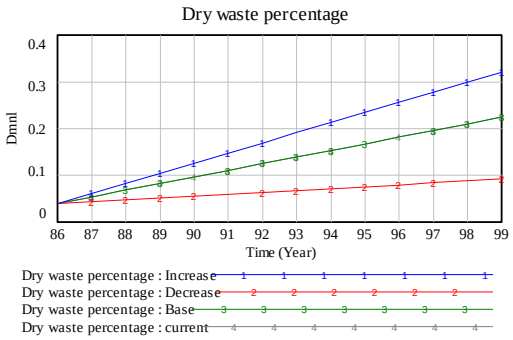
1- Policy Parameters

Archive of SID

www.SID.ir



(الف)



(ب)

نمودار ۶- الگوی شبیه سازی رفتار متغیر پسماند خشک با تغییر پارامتر شیب تابع افزایش سالیانه(۰/۱ و ۰/۵۴)(۱۳).

Diagram6-Simulated Behavior Of Collected Dry Waste Variable By Changing The Parameter Of Annual Ramp Function (0.1,0.54)(13)

نتایج شبیه سازی انباشت پسماند خشک جمع آوری شده در نمودار۶ قابل بررسی است. رفتار متغیر پسماند خشک تفکیک شده با تغییر شیب تابع افزایش سالیانه به ۰/۵۴ مشابه الگوی آن در شبیه سازی افزایش پارامتر درصد پایه جمع آوری پسماند خشک به ۰/۰۵۷ است(۱۳).

تدوین سناریو

پس از آن‌که با انجام تحلیل حساسیت و سیاست، مدلی معتبر با ساختار سیاستی بهبود یافته به دست آمد، از آن می توان برای تدوین انواع سناریوهای مورد نظر برای آینده استفاده نمود.گزینه های مدیریتی متعددی را می توان با در نظر گرفتن پارامترهای سیاستی و سیستمی مختلف، مدنظر قرار داد و تأثیر آن‌ها بر پاسخ پویای مدل را به عنوان سناریوهایی برای آینده لحاظ کرد(۵).

در این مقاله دو سناریوی خوش‌بینانه (Best) و بدبینانه (Worst) را با تغییر پارامترها در دامنه موجه و با استفاده از نتایج تحلیل حساسیت ارایه نموده، به مقایسه دو سناریوی جدید با سناریوی مبنا می پردازیم:

- **سناریوی مبنا**

در این سناریو پارامترها و ضرایب به صورت زیر می باشد:

- رشد خالص جمعیت شهر ۱/۴ درصد سالیانه .
- سرانه تولید پسماند شهری ۰/۳۲۲ تن.
- درصد جمع آوری پسماند خشک در مبدأ تولید ۴ درصد.

-ضریب افزایش سالیانه درصد جمع آوری پسماند خشک در مبدأ تابع RAMP با شیب ۰/۳۵۵ (۱۳).

- **سناریوی خوش‌بینانه**

یک سناریوی خوش‌بینانه، با فرض مطلوب‌ترین شرایط، حاصل می‌شود. در این سناریو فرض بر این است که پارامترهای سیستم بهترین مقادیر ممکن خود را دارند.در این سناریو پارامترها و ضرایب به صورت زیر می باشد:

- رشد خالص جمعیت شهر ۱/۴ درصد سالیانه (تغییر عامل رشد جمعیت خارج از حیطه مدیریت پسماند است).
- بر اساس پروژه آنالیز فیزیکی و شیمیایی پسماند شهر تهران، متوسط سرانه تولید پسماند در شهر تهران ۵۸۹ گرم در روز است(۱۵) . با اصلاح الگوی مصرف شهروندان می توانیم سرانه تولید پسماند را به کم‌ترین میزان ممکن خود برسانیم .با درنظر گرفتن این رقم متوسط سرانه تولید پسماند در مدل بر حسب تن در سال معادل۰/۲۱۵ در نظر گرفته می‌شود.
- بر اساس پروژه آنالیز فیزیکی و شیمیایی پسماند شهر تهران درصد پسماند تر در مبدأ تولید ۶۱ درصد می باشد(۱۵). مابقی اختلاف این درصد تا عدد ۱۰۰ (٪۳۹) مربوط به پسماندهای خشک و دفنی می باشد. از سوی دیگر درصد پسماند تر ورودی به مجتمع آرادکوه ۷۲ درصد است(۱۵)،

Archive of SID

www.SID.ir

یعنی ۲۸ درصد آن به پسماندهای خشک و دفنی تعلق دارد. علت اختلاف بین دو عدد ۲۸ و ۳۹ درصد مربوط به جمع آوری پسماند های خشک در قالب طرح تفکیک در مبدأ و جمع آوری زباله های خشک با ارزش توسط زباله‌گردها به روش کاملاً غیربهداشتی می باشد. درصورتی که فرض نماییم در قالب طرح تفکیک در مبدأ کلیه پسماندهای خشک باارزش جمع‌آوری گردند و با در نظر گرفتن ۷ درصد برای پسماندهای دفنی و غیر ارزش‌مند، ضریب جمع‌آوری پسماندهای خشک (Dry waste percentage) را در مدل برابر۰/۳۲ (۳۲٪) قرار می دهیم.این ضریب را از ابتدای دوره شبیه سازی اِعمال می‌نماییم (درحالت خوش بینانه)، لذا ضریب افزایش سالیانه را صفر می کنیم. هم‌چنین فرض می‌نماییم بازیافت غیررسمی توسط زباله گردها وجود نداشته باشد و مابقی پسماندهای خشک و دفنی وارد فرآیند دفع گردند(۱۳).

- **سناریوی بدبینانه**

یک سناریوی بدبینانه، با فرض بدترین شرایط، حاصل می‌شود. در این سناریو فرض بر این است که پارامترهای سیستم بدترین مقادیر ممکن خود را دارند.در این سناریو پارامترها و ضرایب به صورت زیر می باشد:

-رشد خالص جمعیت شهر ۱/۴ درصد سالیانه (تغییر عامل رشد جمعیت خارج از حیطه مدیریت پسماند است).

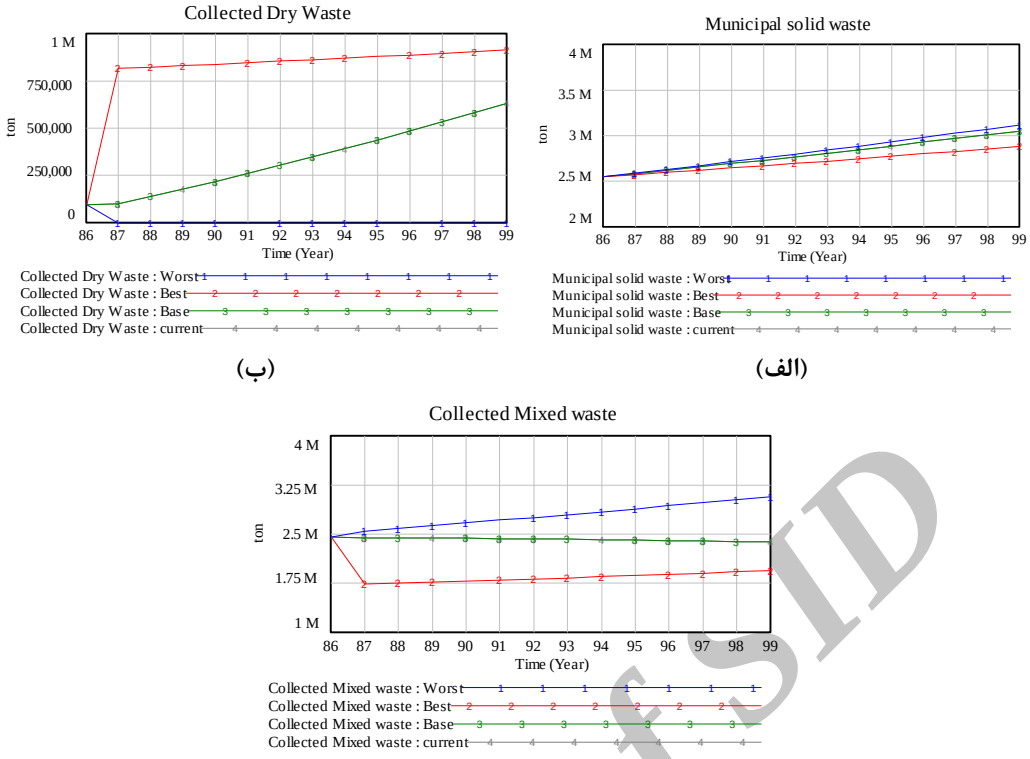
- با بدترشدن الگوی مصرف شهروندان می‌توانیم سرانه تولید پسماند را به بیش‌ترین میزان ممکن خود برسانیم. با درنظرگرفتن متوسط سرانه تولید پسماند در شهر تهران به میزان یک کیلوگرم در روز این پارامتر در مدل بر حسب تن در سال معادل۰/۳۶۵ در نظر گرفته می‌شود.

- درصد جمع آوری پسماند خشک در مبدأ در قالب طرح تفکیک را برابر صفر قرار می‌دهیم . یعنی ضریب (Dry waste percentage) را در مدل برابر صفر در نظر می‌گیریم (۱۳).

در نمودار(۷) اثر اجرای سه سناریوی مبنا، خوش بینانه و بدبینانه در الگوی رفتاری متغیرهای پسماند جامد شهری، پسماند خشک جمع آوری شده در مبدأ و پسماند مخلوط جمع آوری شده نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار (۷-ب)مشاهده می‌گردد، با تغییر سرانه تولید پسماند ، میزان پسماند جامد تولیدی در شهر تهران تغییر یافته است. در مورد متغیر پسماند خشک جمع آوری شده در مبدأ (نمودار۷-الف) علت شیب کم نمودار در سناریوی Best، آن است که فرض نموده‌ایم از ابتدای دوره شبیه‌سازی مقدار پارامتر در بهترین حالت خود قرار دارد(۱۳).

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار ۷- الگوی شبیه سازی رفتار متغیرهای پسماند جامد تولیدی ، پسماند خشک جمع آوری شده درمبدأ و پسماند مخلوط جمع آوری شده در سه سناریو(۱۳).

Diagram7- Simulated Behavior of Solid Waste, Dry Waste and Mixed Waste Variables in Three Scenarios (13)

با مقایسه سه نمودار درمی‌یابیم که در حالت مبنا میزان پسماند خشک جمع آوری شده در مبدأ در سال ۱۳۹۹ (پایان شبیه-سازی) برابر ۶۳۳۳۰۷ تن بوده است که در حالت بدبینانه به صفر و در حالت خوش بینانه به ۹۱۴۰۳۲ تن رسیده است. همچنین با بهتر شدن سیستم، پسماند مخلوط جمع آوری شده کاهش یافته و با بدتر شدن اوضاع افزایش می یابد(۱۳).

نتیجه گیری

با بررسی نتایج حاصل از تحلیل حساسیت، سیاست و اجرای سه سناریو (مبنا، خوش‌بینانه و بدبینانه) درمی‌یابیم که هرچه-قدرکه مدیران پسماند قادر باشند با تغییر پارامترهای مدل، سیستم را از وضعیت مبنا به حالت خوش بینانه تغییر دهند، سیستم تولید، جمع آوری و حمل پسماندهای جامد در شهر تهران عملکرد بهتری داشته و به سوی اجرای روش 3R در سیستم حرکت خواهد نمود. به عنوان یک شاخص اندازه گیری وضعیت سیستم می توان به درصد دفن از کل پسماندهای جامد شهری اشاره نمود. در سناریوی مبنا میزان درصد دفن پسماند از کل پسماند جامد تولیدی در سال ۱۳۸۶(مبنا) برابر با ۹۰ درصد بوده که در سال انتهایی شبیه سازی به ۷۴ درصد کاهش یافته است. در سناریوی خوش بینانه ۹۰٪ در سال مبنا به ۵۶٪ در سال ۹۹ نزول داشته است. در سناریوی بدبینانه عدد ۹۰ درصدی سال مبنا در انتهای شبیه سازی به ۹۴ درصد افزایش داشته است (۱۳).

سپاس‌گزاری

در انتهای مقاله لازم است از کارکنان محترم سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران خصوصاً جناب آقایان مهندسین مهدی پور، سعادتی و فخارمنش که با در اختیار نهادن داده‌ها و مستندات سازمان و راهنمایی‌های خود ما را در اجرای این پژوهش یاری دادند سپاس‌گزاری نماییم.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1. Sufian., M. A. & Bala., B.K., 2007, Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city, Waste Management,No.27,pp.858-868.
2. Sterman., J. D., 2000, Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a complex world,McGrow-Hill.

۳. عبدلی. م.ع، ۱۳۸۷، بازیافت مواد زاید جامد شهری، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

۴. عباسوند. م، ۱۳۸۵، مدیریت پسماندهای شهری(نمونه موردی استان گلستان)، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، دانشکده هنر و معماری، گروه شهرسازی.

۵. سوشیل، (نویسنده)۱۳۸۷، پویایی‌های سیستم (رویکردی کاربردی برای مسایل مدیریتی)، تیموری. ابراهیم، نورعلی. علی‌رضا و ولی زاده. نریمان(مترجمین)، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

6. Mashayekhi., A. N.,1993,Transition in the New York state Solid waste system:a dynamic analysis,System Dynamics Review,Vol.9,no.1,pp.23-47.
7. Sudhir.,V.,Srinivasan.,G. & Muraleed haran.,V.R.,1997, Planning for sustainable solid waste management in urban India,System Dynamics Review, Vol.13, no.3, pp.223-246.
8. Karavezyris.,V., Timpe., K. & Marzi., R., 2002, Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste ,Mathematics and Computers in simulation, No.60, pp.149-158.
9. Dyson., B. & Chang., N., 2005, Forecasting municipal solid waste generation in a fast –growing urban region with system dynamics modeling ,Waste Management, No. 25, pp.669-679.

۱۰. "سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵" Retrieved September 12,2009,from http://www.sci.org.ir/portal/faces/public/sci26.

۱۱. "آمار و اطلاعات سازمان مدیریت پسماند" Retrieved September 14,2009 from http://bazyaft.tehran.ir/Default.aspx?tabid=22998.

۱۲. گزارش عملکرد سال ۱۳۸۶،سایت سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران.

۱۳. افتخار.، ل.، ۱۳۸۸، مدلسازی دینامیکی سیستم مدیریت پسماندهای جامد شهری در کلان شهر تهران، دانشگاه آزاد اسلامی –واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مدیریت و اقتصاد،گروه مدیریت شهری.

۱۴. درمان.،ز.،۱۳۸۶، تدوین استراتژی زنجیره تأمین صنعت فولاد ایران با استفاده از تحلیل پویایی سیستم،دانشگاه آزاد اسلامی– واحد علوم و تحقیقات، دانشکده فنی مهندسی،گروه صنایع.

۱۵. مهدی پور.، الف. بررسی مقایسه ای آمارهای مدیریت پسماند. تهران: سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران، ۱۳۸۸.

Archive of SID

www.SID.ir