

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

محمدعلی افشار کاظمی<sup>۱</sup>

لیلا افتخار<sup>۲\*</sup>

[Eftekharl@yahoo.com](mailto:Eftekharl@yahoo.com)

قاسم علی عمرانی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۲۴

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۸

### چکیده

**زمینه و هدف:** تولید پسماند محصول فعالیت‌های 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 بررسی‌های دقیق علمی و پژوهشی قرار گرفته است. در میان عناصر موظف هشت گانه سیستم مدیریت پسماندهای جامد شهری، عناصر تولید، جمع‌آوری و حمل از اهمیت ویژه‌ای 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 هزینه‌های سیستم مدیریت مواد زاید جامد مربوط به جمع‌آوری و حمل پسماندها می‌باشد.

**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 سیستم‌های تولید، جمع‌آوری و حمل زباله در شهر تهران ارائه 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 آزمون‌های اعتبارسنجی قرار داده‌ایم.

**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<sup>۴</sup> پرداخته‌ایم. در شهر تهران بهترین گزینه برای مدیریت زیرسیستم‌های تولید، جمع‌آوری 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\* (مسئول مکاتبات).

۳- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.

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 ارزش مند، مدل سازی پویا.

# **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<sup>1</sup>**

**Leila Eftekhar<sup>2\*</sup>**

[\*Eftekharl@yahoo.com\*](mailto:Eftekharl@yahoo.com)

**Ghasem Ali Omrani<sup>3</sup>**

## **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

## مقدمه

زباله‌های خانگی، تجاری و صنایع کوچک تحت عنوان پسماندهای شهری قلمداد می‌گردند. ترکیب اصلی این پسماندها در کشورهای مختلف جهان تقریباً مشابه است، اما میزان زباله تولیدی، تراکم و سهم هر بخش آن از کشوری به کشور دیگر و از شهری به شهر دیگر متفاوت می‌باشد. این تفاوت از توسعه اقتصادی، موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی و ملاحظات فرهنگی و اجتماعی نشأت می‌گیرد (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، باز مصرف، بازیافت مواد 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 و خاک و کاهش نیاز به زمین برای دفن با یک هزینه بهینه می‌باشند.

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 اندیش‌مندان سیستمی بتوانند مرزها و محدوده های مدل ذهنی<sup>۱</sup> 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 نمی‌گردد 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 می‌باشد.

## 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 می‌افتد که عناصر موظف دارای روابط متقابل و قابل درک باشند. از طرفی عناصر و اجزای پشتیبان مدیریت پسماندها شامل فعالیت‌هایی است که برای تحقق اهداف سیستم مدیریت پسماندها باید انجام گیرد. این عناصر شامل سازمان‌دهی و تشکیلات، امور مالی، آموزش، روابط عمومی و غیره می‌باشد. جمع عناصر موظف و پشتیبان، سیستم مدیریت پسماندها را تشکیل می‌دهد (۴).

## روش‌شناسی مدل‌سازی پویا

روش‌شناسی "پویایی‌های سیستم" در اواخر دهه‌ی ۱۹۵۰ میلادی توسط جی دابلیو. فارستر در مؤسسه فن‌آوری ماساچوست توسعه یافت. در حقیقت این روش‌شناسی را می‌توان به عنوان "کاربرد اصول سیستم‌های کنترل بازخوری" و روش‌هایی برای مدل‌سازی، تحلیل و درک رفتار سیستم‌های پیچیده دانست. مدل‌سازی دینامیکی سیستم اصولاً مبتنی بر روابط علی است. این روابط علی در طول اجرای مدلی که به صورت رایانه‌ای شبیه‌سازی می‌شود، همواره با یکدیگر در ارتباط متقابل هستند و به این ترتیب، تعاملات پویای سیستم را شبیه‌سازی می‌کنند (۵).

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

اصلی تولید پسماند، بازیافت غیررسمی و زیرسیستم رسمی است. شاخص های پایداری عبارتند از شاخص ترکیبی<sup>۱</sup>، شاخص ضایعات مواد، هزینه ی آبی 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  ${}^2\text{HE}$  (سخت - متعادل) را به عنوان بهترین گزینه پیشنهاد می نمایند. این گزینه مقدار کم تر شاخص ترکیبی را به دنبال دارد که نشان دهنده سطح بهداشت عمومی بالاتر است، در حالی که نیازمند سرمایه گذاری کمتر بوده و تعداد بیش تری از زباله گرد ها را پشتیبانی می نماید. به عنوان یک گزینه ی برتر می توان سیستم دو بخشی اتخاذ نمود (به تفکیک مواد قابل بازیافت و مواد ارگانیک). در این روش با توجه به این که زباله گردی 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 دینامیک 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 آن ها تأکید دارد. این عوامل عبارتند از: رفتار زیست محیطی، قیمت پردازش زباله، کمیت جمع آوری، پسماندهای بازیافت و پردازش شده و در نهایت کنترل و نظارت آن ها. 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 دوره ی 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).

مسأله، ۲. مفهوم سازی سیستم، ۳. صورت بندی مدل، ۴. شبیه سازی و اعتبارسنجی مدل، ۵. تحلیل و بهبود سیاست و ۶. اجرای سیاست. روش شناسی مدل سازی 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 حلقه ی علی و نقشه های انباشت-جریان (۵).

### پیشینه تحقیقات انجام شده

در سال ۱۹۹۳ تحقیقی توسط پروفیسور مشایخی در خصوص کاربرد روش شناسی سیستم دینامیک برای مدل سازی سیستم های مدیریت پسماند جامد شهری در ایالت 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 بالاتر کاربران)، اما دریافت کمک های مالی ایالتی آهسته می باشد، آزمون شده است. در آخرین سیاست فرض بر این 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 به صورت سریع تأمین شده و کمک های مالی ایالتی آهسته دریافت می گردند (۶).

در انتهای مقاله پژوهشگر نتیجه گیری می نماید که اجرای هر سه سیاست نشان می دهد که در دست بودن منابع مالی مورد نیاز سیستم پسماند جامد باعث کاهش هزینه های بلند مدت می گردد، چرا که گزینه های کم هزینه تر توسعه مکان های دفع می توانند 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

نگارندگان با اجرای سیاست اول نتیجه می‌گیرند در صورتی که هزینه‌های پردازش پسماند از یک حد بحرانی فراتر رود، آگاهی<sup>۱</sup> به یاری طلبیده می‌شود که خود بهبود رفتار را فعال می‌نماید. در سیاست دوم تغییرات در رفتار زیست محیطی به تنظیمات در پارامتر باز یافت منتج می‌شود. در این سیاست درصد باز یافت در بیش تر دوره زمانی ثابت می‌ماند (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 می‌یابد که به عنوان نتیجه ای از نظارت و کنترل دقیق تر است (۸).

Chang و Dyson 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 تگراس ارزیابی شده است. این شهر یکی از مناطق دارای رشد سریع در آمریکای شمالی است که متأثر از پیمان اقتصادی NAFTA<sup>۲</sup> می‌باشد (۹). پیش بینی تولید پسماندهای جامد شهری بر مبنای عوامل مؤثری از قبیل رشد جمعیت، درآمد خانوار، جمعیت هر خانوار و فعالیت اقتصادی برآورد می‌گردد. در این مقاله میزان تناژ زباله تولیدی بر اساس متغیرهای توصیفی میانه درآمد خانوار، جمعیت و متوسط تعداد افراد هر خانوار برای چهار ناحیه خدماتی در شهر سن‌آنتونیو با استفاده از بسته نرم افزاری STELLA مدل‌سازی شده است (۹). در این پژوهش میزان تخمینی پسماند تولیدی برای هر مرکز 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. مدل‌های یک و دو متمایل به تولید جهش‌های کم‌تر بوده و مدل چهارم و پنجم تمایل به ایجاد جهش‌های بزرگ‌تر دارند. پنج مدل برنامه ریزی شده در این مطالعه بر پایه انواع مختلف مدل‌های دینامیکی سیستم در نظر گرفته شدند، در حالی که مدل مینا بر اساس آنالیز رگرسیون سنتی طراحی گردیده بود. در خاتمه

3- Stock-Flow Diagram

4- Gross Domestic Production

5- Composite Index

1- Awareness

2- North American Free Trade Agreement

## روش بررسی

در این مقاله با استفاده از مدل سازی دینامیکی و ابزارهای مرتبط سعی خواهیم نمود، یک مدل شبیه سازی پیوسته پویا برای زیرسیستم های تولید، جمع آوری و حمل پسماندهای جامد شهری در کلان شهر تهران ارائه 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 ارائه 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 سال های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۷ مورد بررسی قرار گرفته است . این سه سیستم به عنوان بخشی از سیستم کلان تر مدیریت زباله جامد در شهر تهران است. اطلاعات جمعیت شهر از سرشماری سال های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵ مرکز آمار ایران و داده های 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 می باشد. از میزان ۲۵۴۷۵۹۴ تن زباله تولیدی شهروندان در سال ۱۳۸۶، چهار درصد آن (۹۵۲۹۱ تن) به

صورت پسماند خشک ارزش مند 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 می رسند، متغیرهای اصلی اطلاق می گردد. 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<sup>۱</sup> بوده و نشان دهنده میزان جمعیت شهر در سال است . واحد شمارش آن نفر است.

- پسماند جامد شهری: این متغیر درون زا<sup>۲</sup> 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 نشان گر میزان زباله خشک ارزش مند جمع آوری شده (بر حسب تن) در ایستگاه های انتقال ۲۲ گانه می باشد. این متغیر عملکرد طرح تفکیک زباله در مبدأ و میزان مشارکت شهروندان تهرانی در این طرح را خاطر نشان 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 درون زا است که واحد شمارش آن تن می باشد. میزان آن نشان دهنده توانایی سیستم

در حمل زباله های جمع شده در ایستگاه های 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 می گردد. این متغیر عملکرد و بهره وری سیستم حمل زباله های خانگی در شهر را نشان می دهد (۱۳).

#### افق زمانی<sup>۱</sup>

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 در آینده گسترش یابد تا اثرات به تأخیر افتاده و غیرمستقیم سیاست های بالقوه مشخص شود. افق زمانی در پژوهش پیش رو سال های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۹ می باشد. سال مبنا در مدل سال ۸۶ است (۱۳).

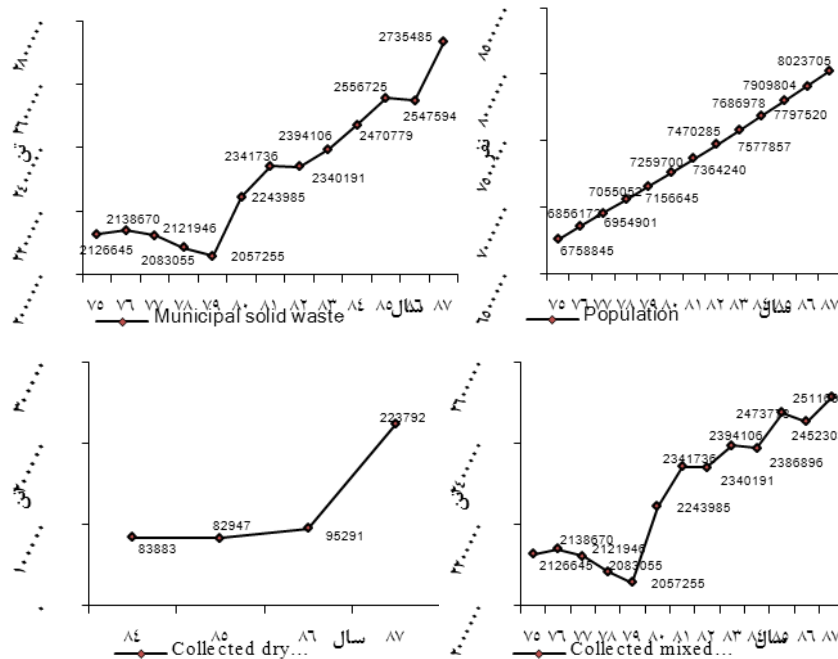
#### الگوهای مرجع<sup>۲</sup>

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 می شود. 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 بیش تر 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 سال های ۸۴، ۸۵، ۸۶ و ۸۷ رسم شده اند. در موارد اندکی که اطلاعات از سال ۷۵ موجود بوده مقیاس زمانی سال های ۷۵ تا ۸۷ در نظر گرفته شده است. کلیه مقادیر در مقیاس سالیانه می باشند (۱۳).

1- Time horizon

2- Reference modes





نمودار ۱- الگوهای مرجع متغیرهای اصلی (۱۳).

Diagram1- Key Variables Reference Modes(13)

**مفهوم سازی سیستم**

زیرسیستم ها خود دارای بخش های 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 می نماییم. در جدول (۱) متغیرهای مدل ارائه شده اند.

پویایی شناسی سیستم شامل گونه ای از ابزارهاست تا مدل ساز را در برقراری ارتباط با مرز مدل و ارایه ساختار علی 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

جدول ۱- 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	جمع آوری پسماند خشک
۷	پسماند خشک جمع آوری شده در ایستگاه-های بازیافت	انباشت	تن	جمع آوری پسماند خشک
۸	ظرفیت جمع آوری پسماند مخلوط	انباشت	تن	جمع آوری پسماند مخلوط
۹	نرخ جمع آوری پسماند مخلوط	نرخ	تن در سال	جمع آوری پسماند مخلوط
۱۰	پسماند مخلوط جمع آوری شده در ایستگاه-های انتقال	انباشت	تن	جمع آوری 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

### نمودار حلقه‌ی علی

قطبیت (+) یا (-) هستند. بر اساس قاعده‌ی تجربی اگر تعداد پیوندهای (-) در حلقه‌ی بازخوری صفر یا زوج باشد، قطبیت آن حلقه مثبت و اگر تعداد پیوندهای (-) در حلقه‌ی بازخوری فرد باشد، قطبیت حلقه منفی خواهد بود. حلقه‌های با قطبیت مثبت تقویت کننده<sup>۱</sup> (R) حلقه‌های با قطبیت منفی متعادل-کننده<sup>۲</sup> (B) می‌باشند (۵).

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

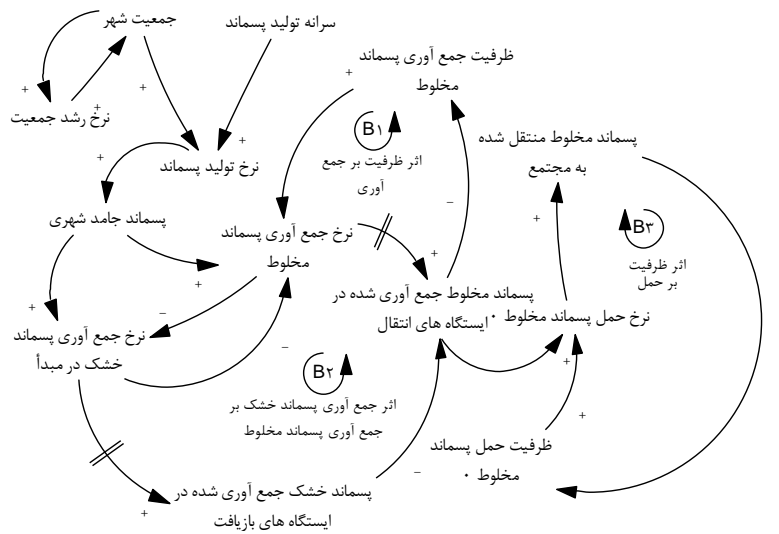
هدف اصلی نمودارهای حلقه‌ی علی نشان دادن فرضیه‌های علی در هنگام مدل‌سازی است تا از این طریق، ساختار به شکل کامل و به هم پیوسته بیان شود. سلسله مراتب عناصر بازخوری در نمودار حلقه‌ی علی عبارتند از: متغیرها، پیوندهای علی، حلقه‌های بازخوری علی و سیستم بازخوری (۵).

تأثیر متغیری به متغیر دیگر ممکن است مثبت یا منفی باشد. این تأثیر را می‌توان با علامت (+) یا (-) بر روی کمان پیوند علی نشان داد. قواعد تعیین علامت پیوندهای علی عبارتند از: (۱) با فرض ثابت ماندن سایر متغیرها: اگر تغییر در یک متغیر، متغیر دیگر را در همان جهت تحت تأثیر قرار دهد، در این صورت گفته می‌شود که این رابطه علی مثبت است.

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

در نمودارهای حلقه‌ی علی همان طور که پیوندهای علی علامت‌های (+) یا (-) دارند، حلقه‌های بازخوری نیز دارای

1- Reinforcing  
2- Balancing



شکل ۱ - نمودار حلقه‌ی علی مدل (۱۳).

Figure 1- Model Casual Loop Diagram (13)

– ابرها<sup>۲</sup> 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 سازی سال های ۸۶ تا ۹۹ می باشد. در شکل (۲) نقشه انباشت-جریان سیستم ارائه شده است.

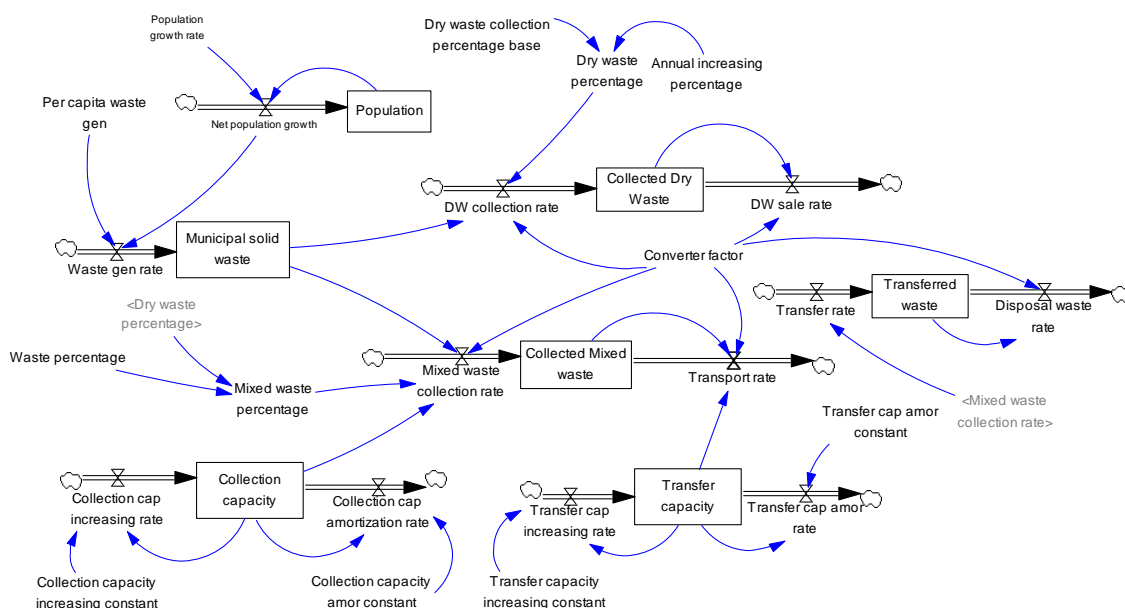
سه حلقه بازخوری منفی (متعادل کننده) در نمودار قابل مشاهده است.

**مدل سازی سیستم**

مدل سازی سیستم شامل تهیه نقشه های انباشت-جریان و وارد نمودن معادلات ریاضی در آن است. انباشت ها و جریان ها به همراه بازخور دو مفهوم اصلی در تیوری سیستم های پویا به شمار می آیند. منظور از انباشت در واقع همان تجمعات است. انباشت ها نشان دهنده وضعیت سیستم و حاوی اطلاعاتی هستند که براساس آن تصمیمات اتخاذ و اقداماتی صورت می گیرد (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 می شود (از انباشت کسر می گردد) نشان داده می شوند.
- سوپاپ ها<sup>۱</sup> کنترل کننده جریان ها هستند.



شکل ۲- نقشه انباشت- جریان مدل (۱۳).

Figure2- Model Stock-Flow Diagram(13)

نتایج

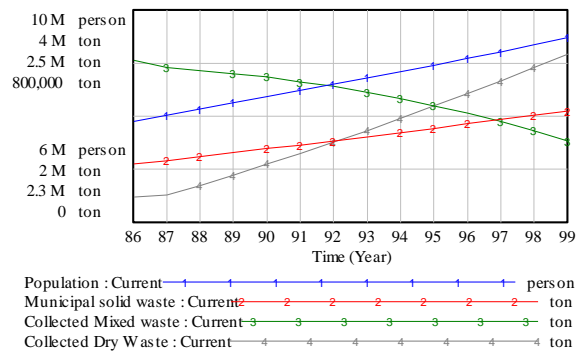
در بخش نتایج ابتدا اجرای شبیه سازی مینا را تحلیل نموده و سپس به نتایج آزمون های اعتبارسنجی مدل به اجمال اشاره می نماییم.

اجرای شبیه سازی مینا

جهت بررسی نتایج حاصل از مدل سازی 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 مینا به طور همزمان نشان داده شده است. از نمودار مطالب زیر استخراج می گردد:

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، در نتیجه 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. از طرفی، 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 مینا ۹۵۲۹۱ تن بوده که این عدد در سال ۱۳۹۹ به ۶۳۳۳۰۷ تن می رسد. (۱۳).

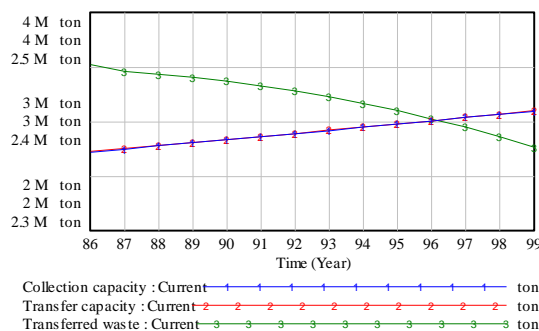


نمودار ۲- اجرای مبنای چهار متغیر جمعیت، پسماند جامد، پسماند خشک و پسماند مخلوط جمع آوری شده (۱۳).

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

یازده گانه و ظرفیت حمل پسماندها به مجتمع با شیب کم در حال افزایش است. هم چنین 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).

پسماندهای مخلوط در مدل با عنوان Collected Mixed Waste ذکر شده است. میزان این متغیر در سال مینا 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 ایستگاه های انتقال



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

Diagram 3- Base Run Of Collection Capacity, Transfer Capacity, Transferred Waste Variables(13)

### اعتبارسنجی مدل

دارند تا در مورد پیامدهای دراز مدت هر سیاست تحلیلی ارایه نمایند، لذا در اعتبارسنجی به جای آن که تمرکز بر روی پیش

هدف نهایی فرآیند اعتبارسنجی در سیستم دینامیک، اطمینان از صحت رفتار ساختاری مدل در عین توجه به فرآیند مدل-سازی است. با توجه به این که مدل های سیستم دینامیک قصد

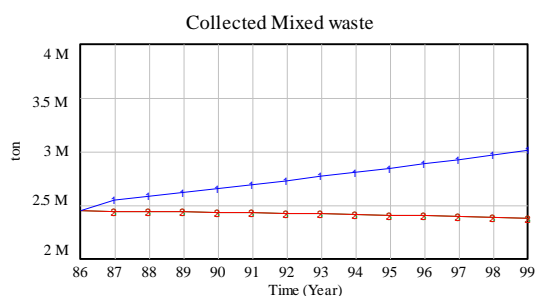
گردد. در واقع در نقاط حدی مدل نباید رفتار غیرمعمولی از خود بروز دهد (۱۴).

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 می‌یابد که رفتاری متعارف می‌باشد (نمودار ۴-الف).

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

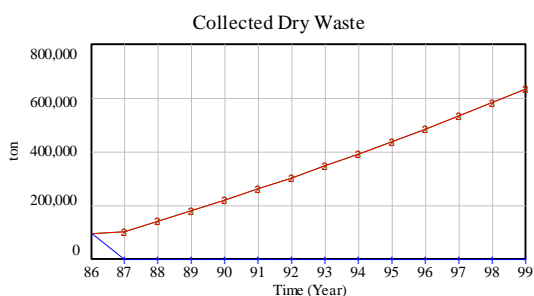
آزمون‌های مرتبط با مدل‌های پویایی‌های سیستم را می‌توان در قالب آزمون‌های ساختار مدل، رفتار مدل و مضامین سیاست‌های مدل دسته‌بندی کرد (۵). در خصوص مدل دینامیکی سیستم‌های تولید، جمع‌آوری و حمل پسماندهای جامد شهر تهران، آزمون‌های اعتبارسنجی از قبیل تأیید ساختار، کفایت مرز، سازگاری ابعادی، شرایط حدی، تأیید پارامترها، بازتولید رفتار، رفتار نامتعارف، عضو خانواده، رفتار غافلگیرکننده، پیش‌بینی رفتار، پیش‌بینی رفتار تغییر یافته و بهبود سیستم انجام گرفته است. در این مجال مختصر به بررسی آزمون شرایط حدی می‌پردازیم. خواننده محترم جهت آشنایی بیشتر با آزمون‌های اعتبارسنجی مدل می‌تواند به منبع شماره (۱۳) مراجعه نماید.

مدل باید در شرایط حدی محکم و مقاوم باشد، یعنی در شرایط حدی رفتار واقعی داشته باشد. در این تست مقادیر حدی برای برخی از پارامترهای مدل تعیین شده و سپس رفتار تولید شده توسط مدل با رفتار مشاهده شده از سیستم واقعی مقایسه می‌



Collected Mixed waste : 0%  
Collected Mixed waste : Base run  
Collected Mixed waste : Current

(ب)



Collected Dry Waste : 0%  
Collected Dry Waste : Base run  
Collected Dry Waste : Current

(الف)

نمودار ۴- الگوی شبیه‌سازی 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 Zero (13)

پالایش به صورت رفت و برگشتی ایجاد می‌شوند. 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

#### تفسیر نتایج

مدل‌های پویایی‌های سیستم با گذر از مراحل مختلف مفهوم سازی، صورت‌بندی، آزمایش، مفهوم سازی مجدد و اصلاح و

-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 +دغنی) در مبدأ تولید برابر با ۳۹ درصد کل پسماند تولیدی است (۱۵). با در نظر گرفتن ۷ درصد برای پسماندهای دغنی و غیرارزشمند، می توان 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 به ۰/۳۲ می رسد. یعنی در سال ۱۳۹۹، کلیه پسماندهای خشک ارزشمند در مبدأ تولید تفکیک می شوند.

تحلیل حساسیت و سیاست<sup>۱</sup> 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 جزئی آشکار در ساختار مدل حساسیت دارد؟" (۵).

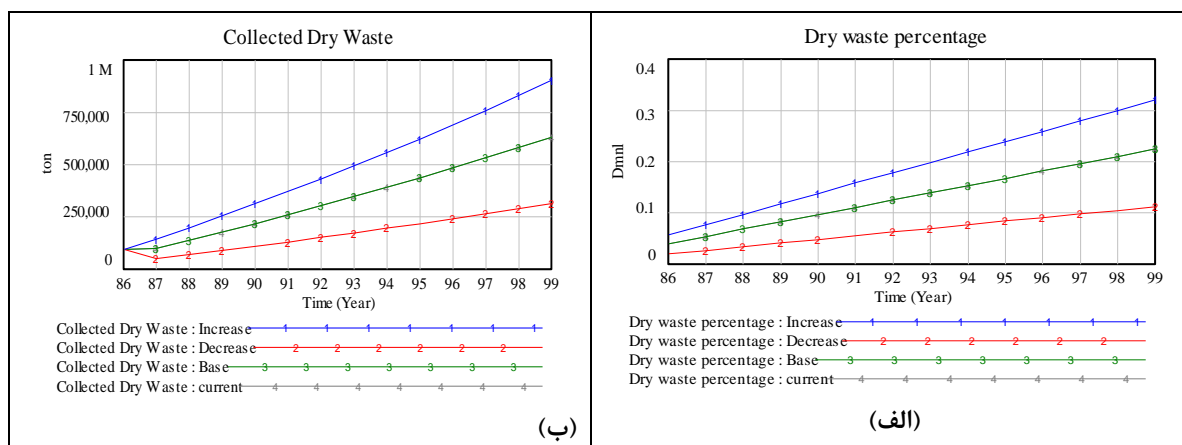
در مدل دینامیکی سیستم های تولید، جمع آوری و حمل پسماندهای جامد شهر تهران می خواهیم با تغییر مقادیر پارامترهای مؤثر بر مقدار پسماند خشک جمع آوری شده در مبدأ، حساسیت آن را تست نماییم. متغیرهای تأثیرگذار عبارتند از:

- نرخ رشد جمعیت (Population growth rate).

- سرانه تولید پسماند (Per capita waste gen).

- درصد جمع آوری پسماند خشک در مبدأ (Dry waste percentage).

از آن جایی 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 می توان با فرهنگ سازی و آموزش های شهروندی کاهش داد، اما به دلیل آن که تغییر سرانه تولید پسماند مستلزم اصلاح الگوی مصرف می باشد لذا نیازمند همکاری تمامی ارگان های 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 آن جایی 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 می نماییم. 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.



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)

### تحلیل سیاست

در مدل پویایی‌های سیستم برخی از پارامترها را می‌توان تحت عنوان پارامترهای سیاستی<sup>۱</sup> طبقه بندی نمود. این پارامترها، پارامترهایی هستند که تصمیم‌گیران، در سیستم‌های 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، می‌توان از آن استفاده کرد (۵).

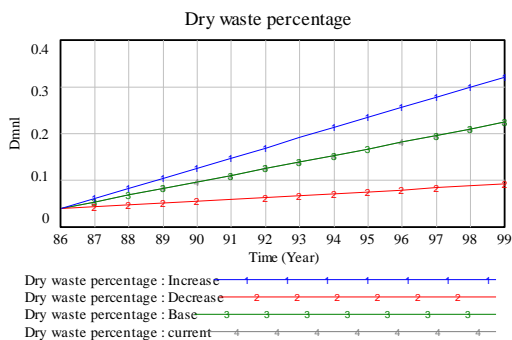
در مدل دینامیکی سیستم ما، ضریب افزایش سالیانه درصد پایه جمع آوری پسماند خشک در مبدأ یک پارامتر سیاستی می‌باشد که تصمیم‌سازان قادرند با تغییر آن رفتار سیستم را بهبود نمایند. در این تحلیل سیاست، پارامتر درصد پایه جمع آوری پسماند خشک را ثابت فرض نموده و ضریب افزایش سالیانه درصد تفکیک پسماند خشک را با تغییر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

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

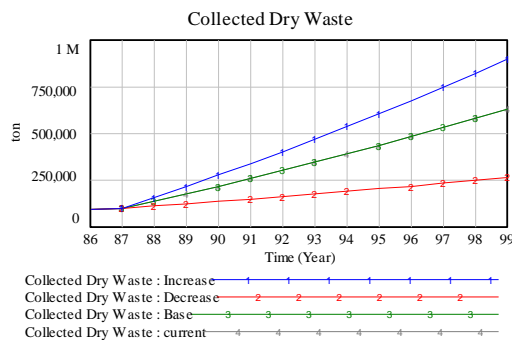
در اجرای مبنا (روند ۳ در نمودار ۵-ب) انباشت پسماند خشک جمع آوری شده از میزان ۹۵۲۹۱ تن در سال ۱۳۸۶ به ۶۳۳۳۰۷ تن در سال ۱۳۹۹ می‌رسد. با کاهش درصد پایه جمع آوری پسماند خشک به ۲ درصد (روند ۲ نمودار ۵-الف) و میزان کل پسماند خشک جمع آوری شده در سال ۱۳۹۹ به ۳۱۶۶۵۳ تن نزول می‌یابد. از سوی دیگر با افزایش پارامتر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





(ب)



(الف)

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)

۴ 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 خوش بینانه

یک سناریوی خوش بینانه، با فرض مطلوب ترین شرایط، حاصل می شود. 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 در نظر گرفتن این رقم متوسط سرانه تولید پسماند در مدل بر حسب تن در سال معادل ۰/۲۱۵ در نظر گرفته می شود.

- 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 (۰/۳۹) مربوط به پسماندهای خشک و دفنی می باشد. از سوی دیگر درصد پسماند تر ورودی به مجتمع آرادکوه ۷۲ درصد است (۱۵).

نتایج شبیه سازی انباشت پسماند خشک جمع آوری شده در نمودار ۶ 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 آن که 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 آن ها بر پاسخ پویای مدل را به عنوان سناریوهایی برای آینده لحاظ کرد (۵).

در این مقاله دو سناریوی خوش بینانه (Best) و بدبینانه (Worst) را با تغییر پارامترها در دامنه موجه و با استفاده از نتایج تحلیل حساسیت ارائه 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.

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

- با بدتر شدن الگوی مصرف شهروندان می‌توانیم سرانه تولید پسماند را به بیش‌ترین میزان ممکن خود برسانیم. با در نظر گرفتن متوسط سرانه تولید پسماند در شهر تهران به میزان یک کیلوگرم در روز این پارامتر در مدل بر حسب تن در سال معادل ۰/۳۶۵ در نظر گرفته می‌شود.

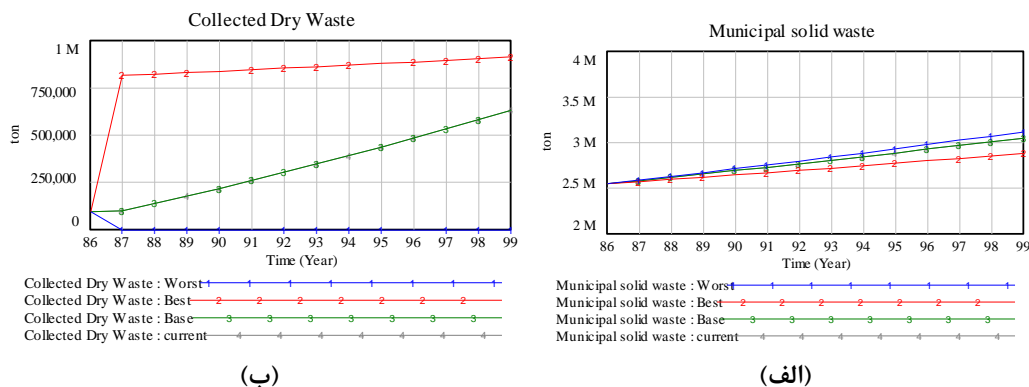
- درصد جمع آوری پسماند خشک در مبدأ در قالب طرح تفکیک را برابر صفر قرار می‌دهیم. یعنی ضریب (Dry waste percentage) را در مدل برابر صفر در نظر می‌گیریم (۱۳).

در نمودار (۷) اثر اجرای سه سناریوی مینا، 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 (نمودار ۷-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).

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. در صورتی که فرض نماییم در قالب طرح تفکیک در مبدأ کلیه پسماندهای خشک با ارزش جمع آوری گردند و با در نظر گرفتن ۷ درصد برای پسماندهای دفنی و غیر ارزشمند، ضریب جمع آوری پسماندهای خشک (Dry waste percentage) را در مدل برابر ۰/۳۲ (۳۲٪) قرار می‌دهیم. این ضریب را از ابتدای دوره شبیه سازی اعمال می‌نماییم (در حالت خوش بینانه)، لذا ضریب افزایش سالیانه را صفر می‌کنیم. هم‌چنین فرض می‌نماییم بازیافت غیررسمی توسط زباله‌گردها وجود نداشته باشد و مابقی پسماندهای خشک و دفنی وارد فرآیند دفع گردند (۱۳).

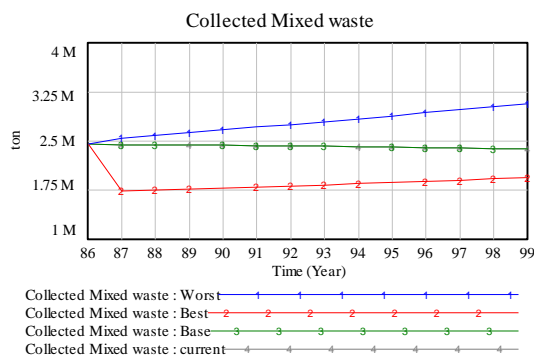
#### • سناریوی بدبینانه

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:



(ب)

(الف)



(ج)

نمودار ۷- الگوی شبیه سازی رفتار متغیرهای پسماند جامد تولیدی، پسماند خشک جمع آوری شده در مبدأ 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)

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، سعادت و فخارمنش که با در اختیار نهادن داده‌ها و مستندات سازمان و راهنمایی‌های خود ما را در اجرای این پژوهش یاری دادند سپاس‌گزاری نماییم.

با مقایسه سه نمودار درمی‌یابیم که در حالت مبنا میزان پسماند خشک جمع آوری شده در مبدأ در سال ۱۳۹۹ (پایان شبیه‌سازی) 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 می‌یابد (۱۳).

#### نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج حاصل از تحلیل حساسیت، سیاست و اجرای سه سناریو (مبنا، خوش‌بینانه و بدبینانه) درمی‌یابیم که هرچه قدر که 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 اندازه‌گیری وضعیت سیستم می‌توان به درصد دفن از کل پسماندهای

## منابع

- 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.
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, McGraw-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، پویایی های سیستم (رویکردی کاربردی برای مسایل مدیریتی)، تیموری. ابراهیم، نورعلی. علی رضا 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. & Muraleedharan., 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