



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## پیش‌بینی میزان تولید پسماند شهری با استفاده از روش سری زمانی (تکنیک ARMA) و مدل سازی پویایی سیستم (نرم افزار Vensim)

اصغر ابراهیمی<sup>۱</sup>، محمدحسن احرام پوش<sup>۲</sup>، حسن هاشمی<sup>۳</sup>، محبوبه دهواری<sup>۴\*</sup>

- ۱- استادیار مرکز تحقیقات علوم و فناوری های زیست محیطی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد
- ۲- استاد مرکز تحقیقات علوم و فناوری های زیست محیطی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد
- ۳- استادیار مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز
- ۴- (نویسنده مسئول): کارشناس ارشد مرکز تحقیقات علوم و فناوری های زیست محیطی، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد

### چکیده

### اطلاعات مقاله:

**زمینه و هدف:** پیش‌بینی میزان تولید پسماند نقش مهمی در مدیریت مواد زاید دارد. مطالعه حاضر با هدف پیش‌بینی میزان تولید پسماند عادی شهر اصفهان با استفاده از دو روش سری زمانی و مدل سازی پویایی سیستم انجام شده است.  
**روش بررسی:** در ابتدا داده‌های قابل استناد مربوط به میزان تولید پسماند از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ از سازمان مدیریت پسماند و اطلاعات جمعیتی از مرکز ملی آمار ایران اخذ گردید. سپس، عوامل مؤثر بر تولید پسماند شهری نظیر جمعیت، رشد شهرنشینی، شاخص تورم GDP و همچنین ارتباط بین آنها با استفاده از مدل GEE مشخص شد. در نهایت میزان تولید پسماند شهر اصفهان با استفاده از روش پویایی سیستم توسط نرم افزار Vensim و روش سری زمانی با تکنیک ARMA پیش‌بینی گردید.  
**یافته‌ها:** نتایج حاصله نشان می‌دهد که جمعیت و شاخص تورم بر میزان تولید پسماند با  $P$  value به ترتیب برابر با ۰/۰۲۶ و ۰ با میزان تولید پسماند رابطه معناداری دارند. میانگین سالیانه میزان تولید پسماند در سال ۱۴۰۰ در روش سری زمانی و پویایی سیستم به ترتیب به  $1501/4 \text{ ton/day}$  و  $1436 \text{ ton/day}$  خواهد رسید. همچنین نرخ رشد سالیانه تولید پسماند ۲/۴۴٪ بدست آمد.  
**نتیجه‌گیری:** جمعیت و شاخص تورم بر تولید پسماند اثر معناداری دارند و تولید پسماند در آینده روند افزایشی خواهد داشت. این افزایش در مناطق مختلف و با روش‌های متفاوت پیش‌بینی یکسان نخواهد بود. روش سری زمانی با تکنیک ARMA پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به سایر روش‌ها انجام می‌دهد.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۰۳  
تاریخ ویرایش: ۹۵/۰۱/۲۴  
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۳۱  
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۳/۱۷

**واژگان کلیدی:** پسماند، اصفهان، مدل GEE، تکنیک ARMA، مدل سازی پویایی، نرم افزار ونسیم

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
mahboobehdehvari@yahoo.com

Please cite this article as: Ebrahimi A, Ehrampoush MH, Hashemi H, Dehvari M. Predicting municipal solid waste generation through time series method (ARMA technique) and system dynamics modeling (Vensim software). Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):57-68.

## مقدمه

در سال‌های اخیر، موضوعات محیط زیستی مرتبط با توسعه اقتصادی به شدت مورد توجه کشورهای مختلف قرار گرفته است. با افزایش آگاهی‌های زیست محیطی مردم و به منظور افزایش توسعه اقتصادی، فشار بر دولت‌ها جهت توجه بیشتر به این موضوعات افزایش یافته است (۱). یکی از چالش‌های مدیریت شهری، پیش‌بینی دقیق تولید پسماند است. پیش‌بینی تولید پسماند در آینده نقش مهمی در مدیریت این مواد ایفا می‌کند. امروزه یکی از بهترین روش‌ها جهت انجام این برآوردها، استفاده از مدل‌های رایانه‌ای است. انسان همیشه از مدل‌ها به عنوان ابزاری جهت حل مشکلات خود به صورت یک تصویر ساده شده از واقعیت استفاده کرده است. البته روشن است که مدل‌ها هیچ‌گاه حاوی تمام مشخصه‌های سیستم واقعی نیستند، اما مهم است که مدل حاوی آن دسته از مشخصه‌های خاص باشد که در جریان حل مساله مورد نظر، حیاتی و لازم است (۲). از طرفی دیگر، در صورتی که تعداد پارامترهای مدل پایین نگه داشته شود، کالیبراسیون سریع‌تر و آسان‌تر خواهد بود (۳). لذا جهت تعیین پارامترهای حیاتی مورد نیاز مدل، بایستی از واکنش‌های شیمیایی و زیستی موجود در این فرایندها شناخت کافی بدست آورد (۴).

بسیاری از روش‌های آماری پیش‌بینی مانند روش میانگین هندسی، روش منحنی اشباع، روش رگرسیون، حداقل مربعات و روش گسترش منحنی بر اساس شکل مدل‌های ریاضی نیمه تجربی طراحی می‌شوند. ساختار این مدل‌ها به طور ساده بیانی از علت اثر با توصیف و شرحی از گسترش و جهت روند برای تعیین و مشخص کردن خصوصیات سیستماتیک ذاتی یک پدیده است که در ارتباط با اطلاعات پایگاه‌های موجود تشخیص داده می‌شوند. سه گام مهم در فرایند مدل‌سازی شامل تایید، کالیبراسیون و اعتبارسنجی می‌شود (۲).

مدل‌های ریاضی را غالباً به دو دسته مدل‌های ایستا و پویا تقسیم می‌کنند (۳، ۵). مدل‌های ایستا شرایط تعادل را نشان می‌دهند، در صورتی که مدل‌های پویا تغییرات سیستم طی

زمان را نشان می‌دهند (۶). پویایی سیستم در دهه ۱۹۶۰ توسط Forrester و همکاران در دانشکده مدیریت پژوهشگاه صنعتی ماساچوست پایه‌گذاری شد (۵، ۷). وی نخستین کار خود را با عنوان پویایی صنعتی فورستر توصیف کرد (۴)، Chaerul و همکاران از رویکرد پویایی سیستم جهت مدیریت پسماندهای بیمارستانی شهر جاکارتای اندونزی استفاده کرده‌اند (۹). مدل‌های پویا پیشتر به صورت ساده برای حل موضوعات با داده کم ایجاد شد. این روش بطور ویژه برای اداره موقعیت‌هایی طراحی می‌شود که برای انجام پیش‌بینی داده‌های محدودی موجود است و محیط‌های سیستم به خوبی تعریف یا کاملاً تفهیم شده باشند.

مدل‌سازی پویایی سیستم برای بررسی و پیش‌بینی بسیاری از سیستم‌ها شامل سیستم‌های تجاری، اقتصادی، اجتماعی، کشاورزی، اکولوژیکی، سیاست‌گذاری و محیط زیستی استفاده شده‌اند (۱۳-۱۰). در روش پویایی سیستم از فرضیه فرایندهای بازخورد و پیش‌خورد استفاده می‌شود. یک سیستم بازخورد از رفتار گذشته خود تاثیر می‌پذیرد. هدف معمول پژوهش با روش پویایی سیستم، درک چگونگی و علت پویایی مسائل و جستجوی سیاست‌های مدیریتی برای بهبود این وضعیت است (۵).

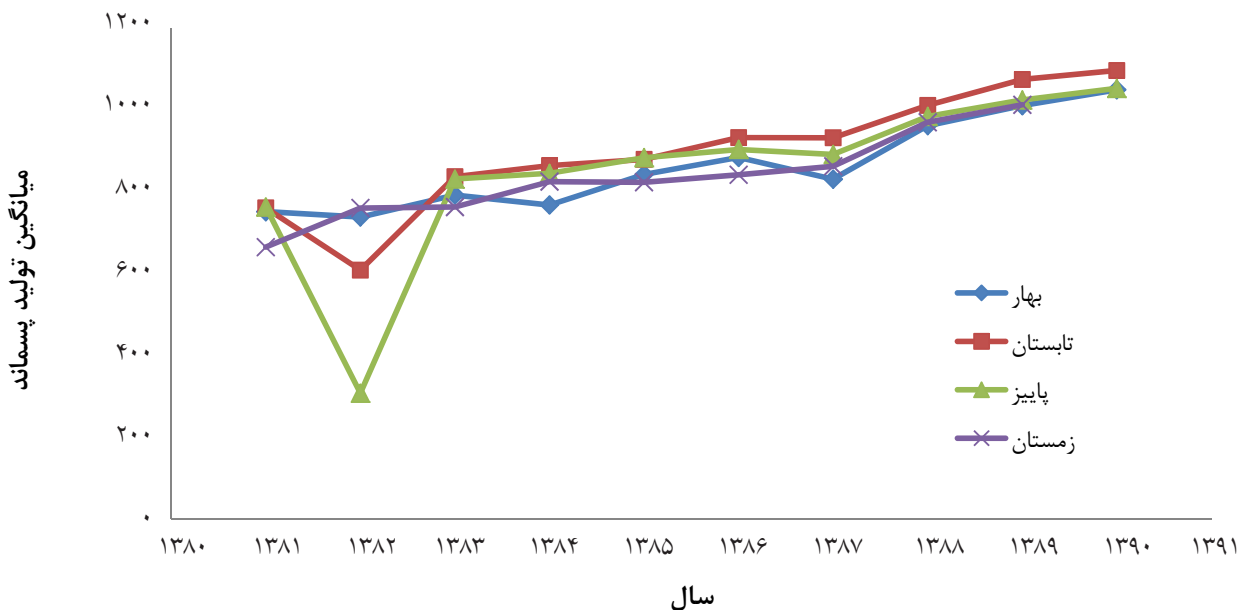
برای آنالیز داده‌هایی که همبسته هستند، به یک مدل آماری نیاز است که در آن همبستگی میان مشاهدات در نظر گرفته شود. روش معادلات برآوردی تعمیم یافته (GEE: Generalized Estimating Equations) در مدل‌سازی داده‌های همبسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که داده‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر از نوع سری زمانی است، لذا از مدل GEE به منظور تعیین ارتباط میزان تولید پسماند با تعداد جمعیت، رشد شهرنشینی، شاخص تورم و (Gross Domestic GDP Product) بهره برده شد. مدل خطی تعمیم یافته را از قید استقلال داده‌ها آزاد کرده و قابلیت مدیریت داده‌های همبسته همچون سری‌های زمانی را به محقق می‌دهد (۱۴).

براساس سرشماری سال ۱۳۹۰، استان اصفهان دارای ۴۸۷۹۳۱۲

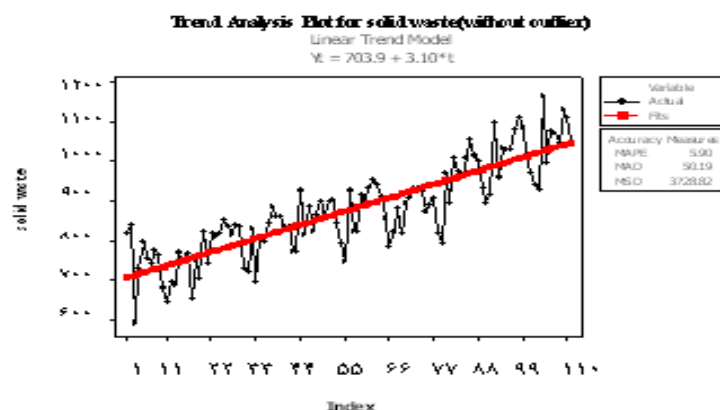
### مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی تولید پسماند عادی شهر براساس فاکتورهای موثر بر آن نظیر رشد جمعیت، درآمد خانوار، بعد خانوار و فعالیت اقتصادی پیش‌بینی گردید. داده‌های جمعیت، متوسط تعداد افراد در خانوار و متوسط هزینه خانوار برای سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ از میان‌یابی داده‌های مربوط به سرشماری نفوس و مسکن از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ از سازمان ملی آمار ایران بدست آمد. در روش ریاضی جهت پیش‌بینی میزان تولید پسماند، از داده‌های سابقه تولید پسماند استفاده گردید. در این مدل، سابقه تولید پسماند ملاک پیش‌بینی تولید پسماند قرار گرفت. نموداری بر حسب افزایش میزان تولید پسماند به تفکیک فصول مختلف سال رسم گردید (نمودار ۱). سری زمانی میزان تولید پسماند از ابتدای سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ نیز رسم شد که برآورد روند آن با یک مدل خطی ساده پس از حذف داده‌های پرت در نمودار ۲ نشان داده شده است. شاخص‌های نمودار نشان می‌دهد که ثبات واریانس و نرمال بودن داده‌ها برقرار است.

نفر جمعیت بوده که ۴۱۶۸۳۰۰ نفر در نقاط شهری و ۷۱۱۰۱۲ نفر در نقاط روستایی و غیر ساکن زندگی می‌کردند. روزانه ۱۰۰۰ ton پسماند در شهر اصفهان تولید شده و سرانه پسماند در این شهر، ۴۷۰ g به ازای هر نفر است (۱۵). مطالعاتی در مورد پیش‌بینی تولید پسماند با استفاده از مدل سری زمانی (ARMA (Autoregressive Moving Average انجام شده است. Shahbazi و همکاران طی مطالعه‌ای میزان تولید پسماند بیمارستان امام خمینی کرج را با روش مذکور مورد بررسی قرار دادند. این محققین بیان کردند که پیش‌بینی میزان تولید پسماند توسط روش سری زمانی جهت برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی منابع مورد نیاز برای مدیریت پسماند بیمارستانی بسیار مفید است (۱۶). هدف از انجام مطالعه حاضر، پیش‌بینی میزان تولید پسماند عادی در شهر اصفهان با سه روش مدل ریاضی، سری زمانی با روش ARMA و پویایی سیستم با زبان برنامه نویسی Vensim و در نهایت انتخاب شیوه بهینه پیش‌بینی تولید پسماند در آینده طرح بوده است.

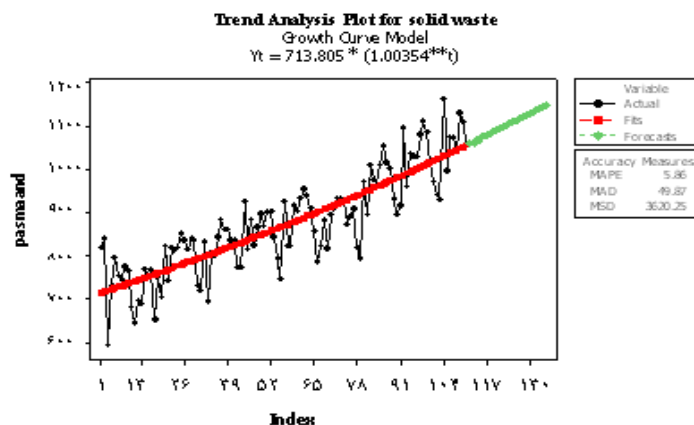


نمودار ۱- میزان تولید پسماند به تفکیک فصول مختلف سال



نمودار ۲- سری زمانی میزان تولید پسماند براساس برازش دوباره مدل خطی ساده به داده‌ها از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰

علاوه بر مدل خطی ساده به برازش مدل خطی درجه ۲ و مناسب‌تری به داده‌ها برخوردار بود، بدین جهت به منظور نمایی نیز پرداخته شد. در این بین، مدل درجه ۲ از برازش انجام پیش‌بینی از این مدل استفاده گردید (نمودار ۳).



نمودار ۳- سری زمانی میزان تولید پسماند بر اساس برازش مدل خطی درجه ۲ به داده‌ها

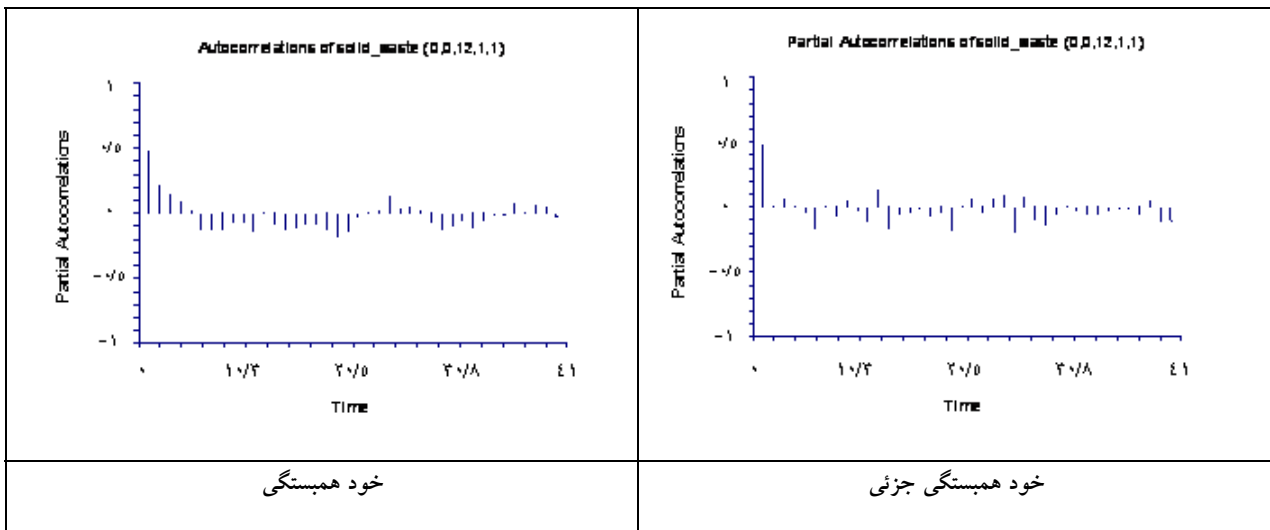
برآورد می‌شوند، ضرائب  $\theta$  نیز پارامترهای میانگین متحرک هستند، مقادیر  $Y$  مقادیر اصلی سری زمانی هستند و  $a$  ها خطاهای تصادفی غیر قابل مشاهده (یا باقیمانده‌ها) هستند که فرض می‌شود دارای توزیع نرمال هستند. این مدل را با  $ARMA(p,q)$  نمایش می‌دهیم.

مراحل برازش مدل  $ARMA$  شامل ۳ بخش است که به صورت تکراری انجام می‌شود تا به مدلی دست پیدا کنیم که برازش مناسبی داشته باشد. مرحله اول آن، شناسایی مرتبه مدل است که بوسیله نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی صورت می‌گیرد (نمودار ۴).

سری زمانی میزان تولید پسماند با استفاده از مدل  $ARMA$  (Box-Jenkins) تحلیل شد. با توجه به نتایج حاصله، مدل  $ARMA(1,2)$ ، برازش مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌های برازش داده شده، داشت، لذا برای پیش‌بینی از این مدل بهره گرفته شد. این روش برای داده‌های سری زمانی با مدت زمان متوسط تا طولانی مدت مناسب است. این مدل به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_t = \varphi_1 Y_{t-1} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + a_t + \theta_1 a_{t-1} + \dots + \theta_q a_{t-q}$$

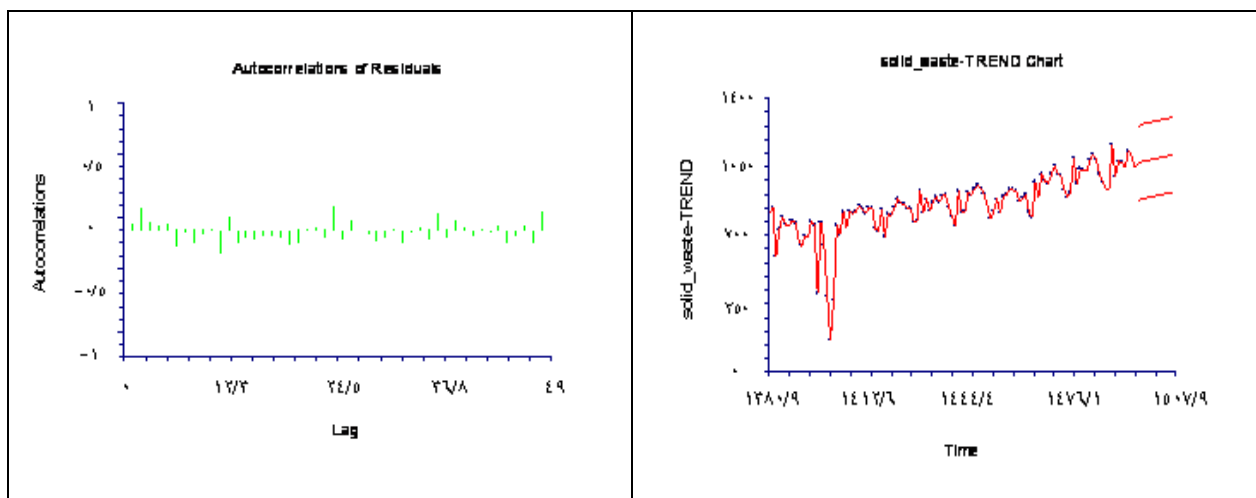
که در آن ضرایب  $\varphi$  پارامترهای خودبازگشتی هستند که



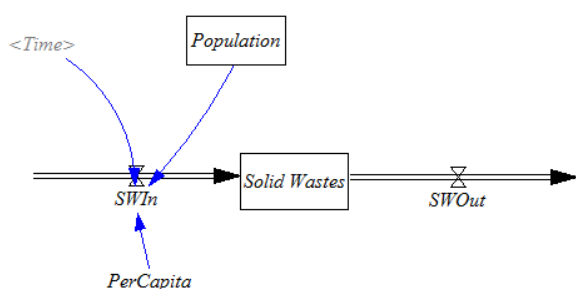
نمودار ۴- خود همبستگی و خود همبستگی جزئی میزان تولید پسماند

با توجه به نتایج حاصله به نظر می‌رسد مدل  $ARMA(1,2)$  برازش مناسب‌تری ( $R^2=66/928340$ ) نسبت به سایر مدل‌های برازش داده شده دارد. همچنین نمودار خود همبستگی باقیمانده‌های حاصل از آن، نشانگر خود همبستگی از هیچ مرتبه‌ای نیست. این امر نشانگر برازنده بودن مدل به داده‌هاست. همچنین باقیمانده‌های مدل دارای توزیع نرمال بودند. بنابراین برای پیش‌بینی از این مدل بهره برده شد (نمودار ۵).

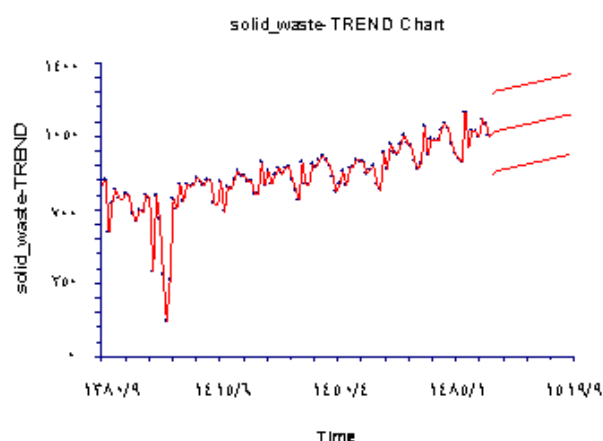
با توجه به نمودارهای رسم شده خود همبستگی، پس از تأخیر دوم به سرعت رو به کاهش گذاشت. از این رو تصمیم به برازش مدل‌های  $ARMA(2,1)$ ،  $ARMA(1,2)$ ،  $ARMA(1,1)$ ،  $ARMA(2,2)$  گرفته شد. از بین این مدل‌ها، بهترین مدل برای انجام پیش‌بینی استفاده شد. مدل مناسب، مدلی است که Pseudo R-Squared آن نزدیک به یک و معیارهای Mean Square Error، Residual Sum of Squares و Mean Square کمینه باشد.



نمودار ۵- سری زمانی میزان تولید پسماند و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل  $ARMA(1,2)$



شکل ۱- شمای گرافیکی پیش‌بینی میزان تولید پسماند با استفاده از داده‌های جمعیت و سرانه تولید پسماند



### یافته‌ها

پیش‌بینی میزان تولید پسماند از آبان ۱۳۹۰ تا مهر ۱۳۹۲ بر اساس مدل درجه ۲ در جدول شماره ۱ آمده است. چنانچه مشاهده می‌گردد، میزان تولید پسماند در آبان ماه ۱۳۹۰ به میزان حدود ۱۰۶۰ ton/day بوده که یک سال بعد به حدود ۱۱۰۶ و در سال ۱۳۹۲ به حدود ۱۱۵۳۰ ton/day رسیده است.

ادامه نمودار ۵- سری زمانی میزان تولید پسماند و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل  $ARMA(1,2)$

جدول ۱- پیش‌بینی میانگین میزان تولید پسماند از آبان ۱۳۹۰ تا مهر ۱۳۹۲ بر اساس مدل درجه ۲

سال	ماه	میزان تولید پسماند
۱۳۹۰	آبان	۱۰۶۰/۰۵۱
۱۳۹۰	آذر	۱۰۶۳/۸۰۱
۱۳۹۰	دی	۱۰۶۷/۵۶۴
۱۳۹۰	بهمن	۱۰۷۱/۳۴
۱۳۹۰	اسفند	۱۰۷۵/۱۲۹
۱۳۹۱	فروردین	۱۰۷۸/۹۳۲
۱۳۹۱	اردیبهشت	۱۰۸۲/۷۸۴
۱۳۹۱	خرداد	۱۰۸۶/۵۷۸
۱۳۹۱	تیر	۱۰۹۰/۴۲۲
۱۳۹۱	مرداد	۱۰۹۴/۲۷۹
۱۳۹۱	شهریور	۱۰۹۸/۱۴۹
۱۳۹۱	مهر	۱۱۰۲/۰۳۴
۱۳۹۱	آبان	۱۱۰۵/۹۳۲
۱۳۹۱	آذر	۱۱۰۹/۸۴۴

با توجه به اینکه داده‌های مورد بررسی از نوع سری زمانی هستند، از مدل GEE به منظور تعیین ارتباط میزان تولید پسماند با تعداد جمعیت، رشد شهرنشینی، شاخص تورم و GDP بهره گرفته شد. مدل GEE، مدل خطی تعمیم یافته را از قید استقلال داده‌ها آزاد کرده و قابلیت مدیریت داده‌های همبسته همچون سری‌های زمانی را به محقق می‌دهد. گرچه برآوردهای مرتبط با این مدل پیچیده است اما تفسیر ضرایب آن مشابه رگرسیون معمولی است. در این مطالعه از مدل GEE با ماتریس کوواریانس بدون ساختار و تابع لینک زمانی و توزیع نرمال استفاده شده است.

در روش پویایی سیستم ابتدا ارتباط بین هر یک از متغیرهای حالت، تمام پارامترها و متغیرهای تاثیرگذار بر آنها شناسایی شدند و شمای گرافیکی آنها روی صفحه ونسیم رسم گردید. سپس جهت این ارتباط‌ها مشخص شد. در مرحله بعد، روابط ریاضی مربوط به هر ارتباط مشخص شد. برخی از داده‌ها، مانند جمعیت و سرانه تولید پسماند، به صورت جدول به مدل داده شد و سری‌های زمانی مربوطه ساخته شد. در نهایت مدل، داده‌ها را بصورت نمودار ارائه می‌دهد (شکل ۱).

بهره گرفته شد. ابتدا به برازش مدل‌های تک متغیره و سپس ارتباطات مورد نظر را در حضور تمامی آنها به صورت چند متغیره مورد بررسی قرار دادیم. از روش آماری *Stata* جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، استفاده شد. نتایج مدل‌های تک متغیره بدین شرح است:

- تعداد جمعیت با میزان تولید پسماند رابطه معناداری نشان داد ( $\text{Beta} = 0/001, P < 0/05$ ).

- رشد شهرنشینی با میزان تولید پسماند رابطه معناداری نشان داد ( $\text{Beta} = 977/617, P < 0/05$ ).

- شاخص تورم با میزان تولید پسماند رابطه معناداری نشان نداد ( $\text{Beta} = 2/227, P > 0/05$ ).

- GDP با میزان تولید پسماند رابطه معناداری نشان داد ( $\text{Beta} = -31/517, P < 0/05$ ).

نتایج چند متغیره با کنترل تمامی متغیرهای مورد بررسی در جدول ۲ به تفصیل آمده است. مطابق با نتایج، متغیرهای رشد شهرنشینی و GDP با میزان تولید پسماند رابطه معناداری نشان ندادند. با این حال، میزان تولید پسماند با تعداد جمعیت رابطه مثبت معنادار و با شاخص تورم رابطه منفی معنادار نشان داد.

ادامه جدول ۱- پیش‌بینی میانگین میزان تولید پسماند از آبان ۱۳۹۰ تا مهر ۱۳۹۲ بر اساس مدل درجه ۲

سال	ماه	میزان تولید پسماند
۱۳۹۱	دی	۱۱۱۳/۷۶۹
۱۳۹۱	بهمن	۱۱۱۷/۷۰۹
۱۳۹۱	اسفند	۱۱۲۱/۶۶۲
۱۳۹۲	فروردین	۱۱۲۵/۶۳
۱۳۹۲	اردیبهشت	۱۱۲۹/۶۱۱
۱۳۹۲	خرداد	۱۱۳۳/۶۰۷
۱۳۹۲	تیر	۱۱۳۷/۶۱۷
۱۳۹۲	مرداد	۱۱۴۱/۶۴۱
۱۳۹۲	شهریور	۱۱۴۵/۶۷۹
۱۳۹۲	مهر	۱۱۴۹/۷۳۱

تعیین رابطه میزان تولید پسماند با جمعیت، رشد شهرنشینی، شاخص تورم و GDP:

از مدل GEE به منظور تعیین ارتباط میزان تولید پسماند با تعداد جمعیت، رشد شهرنشینی، شاخص تورم و GDP

جدول ۲- نتایج مدل‌های چند متغیره

متغیر	برآورد	خطای استاندارد	مقدار p
عرض از مبدأ	- ۱۴۰۹/۲۱۲	۱۱۱۴/۳۸۴۹	۰/۲۰۶
تعداد جمعیت	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۲۶
رشد شهرنشینی	۸۷/۶۴۰	۴۰۶/۹۰۱۱	۰/۸۲۹
شاخص تورم	- ۴/۱۷۴	۱/۱۱۶۵	۰/۰۰۰
GDP	۱/۰۹۵	۳/۱۱۷۶	۰/۷۲۵

جمعیت، شاخص تورم و ماه) برای هر فصل در جدول ۳ نشان داده شده است.

با در نظر گرفتن متغیرهای معنادار درون مدل و برازش دوباره مدل، رابطه میزان تولید پسماند با سایر متغیرها (تعداد

جدول ۳- رابطه میزان تولید پسماند با سایر متغیرها

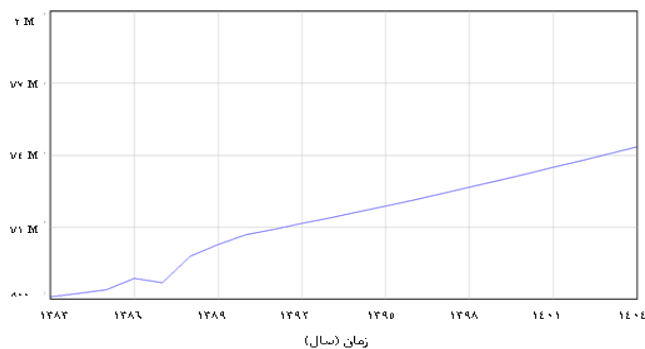
فصل سال	میزان تولید پسماند
بهار	میزان تولید پسماند = $(-911/039) + (0/001) \times \text{جمعیت} + (-4/194) \times \text{تورم} + (23/893) \times \text{ماه}$
تابستان	میزان تولید پسماند = $(-947/276) + (0/001) \times \text{جمعیت} + (-4/194) \times \text{تورم} + (23/893) \times \text{ماه}$
پاییز	میزان تولید پسماند = $(-1071/747) + (0/001) \times \text{جمعیت} + (-4/194) \times \text{تورم} + (23/893) \times \text{ماه}$
زمستان	میزان تولید پسماند = $(-1135/654) + (0/001) \times \text{جمعیت} + (-4/194) \times \text{تورم} + (23/893) \times \text{ماه}$

براساس مدل ۲ (ARMA2) میزان پسماند عادی پیشنهادی مقدار میانگین سالیانه آن به  $1501/4 \text{ ton/day}$  خواهد رسید. برای ده سال آینده طرح در جدول ۴ نشان داده شده است که

جدول ۴- پیش‌بینی میزان تولید پسماند طی ۱۰ سال آینده به روش سری زمانی

سال	بیشترین	کمترین	مقدار پیش‌بینی
۱۳۹۰	۱۲۶۰	۸۸۰/۶	۱۰۷۰/۳
۱۳۹۱	۱۲۹۳/۲	۹۱۳/۲	۱۱۰۳/۲
۱۳۹۲	۱۳۳۸	۹۵۷	۱۱۴۷/۵
۱۳۹۳	۱۳۸۲/۶	۱۰۰۰/۸	۱۱۹۱/۷
۱۳۹۴	۱۴۲۷/۳	۱۰۴۴/۶	۱۲۳۶
۱۳۹۵	۱۴۷۲	۱۰۸۸/۴	۱۲۸۰/۲
۱۳۹۶	۱۵۱۶/۷	۱۱۳۲/۲	۱۳۲۴/۴
۱۳۹۷	۱۵۶۱/۴	۱۱۷۶	۱۳۶۸/۷
۱۳۹۸	۱۶۰۶	۱۲۱۹/۷	۱۴۱۲/۹
۱۳۹۹	۱۶۵۰/۸	۱۲۶۳/۵	۱۴۵۷/۱
۱۴۰۰	۱۶۹۵/۴	۱۳۰۷/۳	۱۵۰۱/۴

مقدار پسماند عادی تولید در روش پویایی سیستم نیز با در نظر گرفتن پارامترهای جمعیت، زمان و سرانه تولید پسماند در نمودار ۶ نشان داده شده است که مقدار میانگین سالیانه آن به  $1436 \text{ ton/day}$  می‌رسد.



نمودار ۶- میانگین سالیانه میزان پسماند عادی تولیدی در آینده طرح بر حسب تن بر روز

## بحث

این است که پیش‌بینی حاصل از روش سری زمانی با تکنیک ARMA قابل استنادتر است. Navarro-Esbri' و همکاران (۲۰۰۲) پیش‌بینی تولید مواد زاید جامد شهری را توسط آنالیز سری‌های زمانی، تکنیک‌های non-linear dynamics و SARIMA (Seasonal Auto Regressive Integrated و Moving Average) مورد بررسی قرار دادند. هر دو تکنیک مورد استفاده عملکرد خوبی داشتند اما مدل‌های SARIMA نتایج بهتری را ارائه دادند (۱۷).

Ahmad در سال ۲۰۱۲ طی مطالعه‌ای از مدل پویایی سیستم جهت پیش‌بینی میزان تولید مواد زاید جامد شهری در دهلی استفاده کردند. مطابق با نتایج بدست آمده از مطالعه این محققین، انتظار می‌رود که سرانه تولید پسماند در ۲۰۲۴ به ۰/۶۱ kg/d برسد. نتایج بدست آمده از این مدل نشان داد که میزان تولید پسماند در دهلی در طول سال‌های ۲۰۲۴-۲۰۰۶ با افزایش جمعیت افزایش خواهد یافت و نرخ سالیانه آن به میزان ۴/۲۸٪ خواهد بود که حدوداً با این مطالعه (نرخ افزایشی سالانه ۳/۴۴) همخوانی دارد (۱۸). همچنین در مطالعه Kollikkathara و همکاران ۲۰۱۰ در سال ۱۳۸۹ نیز از رویکرد مدل پویایی سیستم برای ارزیابی تولید مواد زاید جامد شهری، ظرفیت محل دفن و مسائل مرتبط با مدیریت هزینه‌های مربوطه استفاده نمودند. نتایج مطالعه این محققین نشان داد که تولید مواد زاید جامد شهری، به دلیل تغییر شرایط اقتصادی-اجتماعی و افزایش جمعیت، رو به افزایش است. در طول ۱۰ سال، تولید مواد زاید جامد از ۱/۹۴ ton/cap به ۲/۱۵ ton/cap رسید که نشان‌دهنده رشد ۹/۶٪ است که کمتر از مطالعه حاضر هست (۱۹). Karbasi و همکاران (۲۰۱۰) در سال ۱۳۸۹ نیز با استفاده از نرم افزار WAGS، میزان تولید پسماند و هزینه‌های بخش جمع‌آوری را در منطقه ۲۲ شهرداری تهران، تخمین زدند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بیشترین هزینه جمع‌آوری پسماند به بخش نیروی انسانی تعلق دارد. در سال ۱۳۸۵، جمعیت منطقه مورد بررسی ۱۰۸۶۷۴ نفر و میزان پسماند تولیدی روزانه، ۷۴ ton بوده است. طبق پیش‌بینی‌های انجام

در صورت عدم مدیریت صحیح و مناسب مواد زاید جامد شهری، با آلودگی‌های زیست محیطی روبرو خواهیم شد و سلامت موجودات به خطر خواهد افتاد. لذا داشتن یک الگو و مدل مناسب جهت تخمین میزان پسماند تولیدی می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت پسماندها داشته باشد. در این مطالعه از روش سری زمانی و مدل پویایی سیستم جهت پیش‌بینی میزان پسماند تولیدی در اصفهان استفاده گردید. میانگین سالیانه تولید پسماند عادی شهر در سال ۱۴۰۰ در روش سری زمانی به ۱۵۰۱/۴ ton/day و در روش پویایی سیستم به ۱۲۳۶ ton/day خواهد رسید. با توجه به اینکه در روش سری زمانی عوامل بیشتری در تولید پسماند دخیل گردیده است و روند تولید پسماند طی سال‌های گذشته مدنظر قرار گرفته است، نتیجه برآورد منطقی‌تر است. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین و کمترین میزان پسماند به ترتیب مربوط به فروردین ماه و دی ماه است. Shahbazi و همکاران (۱۳۹۴) میزان تولید پسماند بیمارستان امام خمینی کرج را طی یک دوره چهار ساله (۱۳۸۹ الی ۱۳۹۲) با استفاده از روش سری زمانی، پیش‌بینی نمودند. طبق یافته‌های این محققین، بیشترین میزان تولید پسماند مربوط به فروردین ماه و کمترین میزان آن مربوط به شهریور ماه بود (۱۶). آمار مربوط به بیشترین میزان تولید پسماند با یکدیگر مطابقت دارد اما آمار مربوط به کمترین میزان با یکدیگر همخوانی ندارد.

نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل در مطالعه حاضر نشان می‌دهد که بطور میانگین در هر سال ۳/۴۴٪ در تولید پسماند عادی، افزایش وجود دارد. در مطالعه Shahbazi و همکاران (۲۰۱۵) در مورد پیش‌بینی میزان تولید پسماند، نتایج حاصل از مدل سری زمانی نشان‌دهنده افزایش ۱/۵ برابری تولید پسماند در پاییز ۱۳۹۳ نسبت به میانگین چهار ساله بود. میانگین تولید پسماند از ۲/۹۸ kg/bed.day در سال ۱۳۸۹ به ۴/۴۴ kg/bed.day در سال ۱۳۹۲، روند افزایشی را نشان داد (۱۶).

در مطالعه حاضر، مقایسه نتایج مدل با شرایط موجود حاکی از

GDP و شهرنشینی در میزان تولید مواد زاید جامد شهری در نظر گرفته شد. نتایج این محققین نشان داد که این مدل به اندازه کافی برای پیش‌بینی نوسانات فصلی و سالیانه تولید مواد زاید جامد در مقیاس‌های زمانی ماهیانه، میان مدت و بلند مدت مناسب بوده و دقت مطلوبی دارد. در مقیاس ماهیانه، تولید مواد زاید جامد شهری در ژولای ۲۰۱۵ به حداکثر ۱۳۲/۲ هزار تن (۱/۵ برابر ژولای ۲۰۱۰) خواهد رسید. در میان مدت، تولید مواد زاید جامد شهری سالیانه به ۱۵۱۸/۱ تا ۲۰۱۵ هزار تن با نرخ رشد متوسط ۱۰٪ افزایش خواهد یافت. در طولانی مدت، تا سال ۲۰۲۰، میزان تولید مواد زاید به ۲۴۸۶/۳ هزار تن (۲ برابر مقدار تولید در سال ۲۰۱۰) افزایش خواهد یافت (۲۳).

### نتیجه‌گیری

استفاده از داده‌های تولید پسماند طی سال‌های گذشته می‌تواند نقش مؤثری در پیش‌بینی تولید پسماند طی سال‌های آتی داشته باشد. جمعیت و شاخص تورم بر تولید پسماند اثر معناداری دارند. همچنین در آینده تولید پسماند روند افزایشی خواهد داشت. درصد افزایش در مناطق مختلف و با روش‌های متفاوت پیش‌بینی یکسانی نخواهد داشت. می‌توان با استفاده از روش‌های مناسب‌تر پیش‌بینی تولید پسماند که پارامترهای مختلف و مؤثر بر تولید پسماند را دخیل می‌نمایند، نظیر روش سری‌های زمانی نتیجه مطلوب تری بدست آورد. پیش‌بینی مناسب میزان پسماند تولیدی می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آتی مدیریت پسماند نقش بسزایی داشته باشد. مهم‌ترین کاستی تحقیق، نبود اطلاعات منسجم و با روند یکسان طی سال‌های مختلف در سازمان مدیریت پسماند و خدمات شهری شهرداری است.

### منابع

1. Guan D, Gao W, Su W, Li H, Hokao K. Modeling and dynamic assessment of urban economy–resource–environment system with a coupled system dynamics–geographic information system model.

شده در این مطالعه، در سال ۱۳۹۹، جمعیت این منطقه به ۱۳۷۶۰۰ نفر و میزان تولید پسماند به ۱۰۰/۳۳ ton/day خواهد رسید. در این مطالعه نیز میانگین درصد افزایش سالیانه ۶/۲٪ بدست آمده است (۲۰).

Majlessi و همکاران طی مطالعه‌ای هزینه جمع‌آوری و حمل و نقل پسماند منطقه ۱ شهر بندرعباس را با استفاده از نرم‌افزار WAGS (Waste Analyze Generation System) در سال ۱۳۸۹ مورد بررسی قرار دادند. طبق پیش‌بینی‌های انجام شده در مطالعه این محققین، سرانه تولید پسماند از ۰/۶۵ kg به ۰/۹۷ kg به ازای هر شهروند، خواهد رسید. نتایج مطالعه این محققین حاکی از دو برابر شدن میزان تولید پسماند و حجم آن در سال ۱۴۰۳ بود. این مطالعه نشان می‌دهد که میزان تولید پسماند سالیانه به میزان حدود ۷٪ افزایش خواهد داشت (۲۱).

مطالعه حاضر نشان می‌دهد که مدل GEE می‌تواند جهت تعیین ارتباط میزان تولید پسماند با تعداد جمعیت، رشد شهرنشینی، شاخص تورم و GDP مورد استفاده قرار گیرد. از بین پارامترهای مورد نظر، جمعیت و شاخص تورم بر تولید پسماند دارای اثر معنی‌دار (P-value به ترتیب ۰/۰۲۶ و ۰) هستند. سازمان مدیریت گاز گلخانه‌ای تایلد (۲۰۱۰) فاکتورهای جمعیت و GDP را به عنوان فاکتورهای مؤثر بر تولید پسماند در نظر گرفت و به این نتیجه رسید که میزان تولید پسماند با نرخ سالیانه ۱/۰۸٪ از ۴۳/۷۵۱ ton/day در سال ۲۰۱۳ به ۴۷/۱۱۲ ton/day در ۲۰۲۰ و ۵۲/۵۶۰ ton/day در ۲۰۳۰ خواهد رسید (۲۲). Xu و همکاران (۲۰۱۳) روش ترکیبی (SARIMA و GM (1,1)) را جهت پیش‌بینی تولید مواد زاید جامد در مقیاس‌های زمانی گروهی در شهر زیامین چین استفاده کردند. فاکتورهایی همچون رشد اقتصادی،

Ecological Indicators. 2011;11(5):1333-44.

2. Jørgensen SE, Bendricchio G. Fundamentals of Ecological Modelling. USA: Elsevier; 2001.

3. Samaei MR. Nitrate and ammonia modeling in res-

- ervoirs with system dynamics approach. 13th National Conference on Environmental Health; 2010 Nov 3-4; Kerman, Iran (in Persian).
4. Samaei MR AA, Bargani Ahmadi MA, Asadi R. Eutrophication modeling in reservoirs with System Dynamics approach. 12th National Conference on Environmental Health; 2009 Nov 13-14; Tehran, Iran (in Persian).
  5. Ford FA. Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems. Washington DC: Island Press; 1999.
  6. Hu W, Salomonsen J, Xu F-L, Pu P. A model for the effects of water hyacinths on water quality in an experiment of physico-biological engineering in Lake Taihu, China. Ecological Modelling. 1998;107(2):171-88.
  7. Samaei MR AA, Gharavi M. Phytoplankton and zooplankton modeling in reservoirs with system dynamics approach. Journal of Water and Wastewater. 2005;15(52):47-55 (in Persian).
  8. Forrester JW. The beginning of system dynamics. McKinsey Quarterly. 1995:4-17.
  9. Chaerul M, Tanaka M, Shekdar AV. A system dynamics approach for hospital waste management. Waste Management. 2008;28(2):442-49.
  10. Dyson B, Chang N-B. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. Waste Management. 2005;25(7):669-79.
  11. Karavezyris V, Timpe K-P, Marzi R. Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. Mathematics and Computers in Simulation. 2002;60(3):149-58.
  12. Momeni E, Tajrishy M, Abrishamchi A. System dynamics modeling of multipurpose reservoir operation. Journal of Water and Wastewater. 2007;17(57):47-58 (in Persian).
  13. Samaei MR MS, Ebrahimi A, Shahsavani E. Using system dynamics approach to simulating eutrophication in artificial lakes. The Health System Researches. 2011;6(2):315-25 (in Persian).
  14. Parikh M, Issa R, McCrillis A, Saunders JK, Ude-Welcome A, Gagner M. Surgical strategies that may decrease leak after laparoscopic sleeve gastrectomy: a systematic review and meta-analysis of 9991 cases. Annals of Surgery. 2013;257(2):231-37.
  15. Isfahan Municipality, Deputy Municipal Services. The select of the optimum method of waste processing and disposal of Isfahan City. Isfahan: Isfahan Municipality; 2011 (in Persian).
  16. Shahbazi A, Bagheri Zonoz F, Aboomaash-Zadeh H. The survey of effective factors on waste generation in Emam Khomainsi hospital in Karaj and the analysis of the rate estimation using time series model ARIMA. Iranian Journal of Health and Environment. 2015;8(1):67-80 (in Persian).
  17. Navarro-Esbri J, Diamadopoulos E, Ginestar D. Time series analysis and forecasting techniques for municipal solid waste management. Resources, Conservation and Recycling. 2002;35(3):201-14.
  18. Ahmad K. A system dynamics modeling of municipal solid waste management systems in Delhi. International Journal of Research in Engineering and Technology. 2012;1(4):628-41.
  19. Kollikkathara N, Feng H, Yu D. A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. Waste Management. 2010;30(11):2194-203.
  20. Karbasi A, Omrani Gh, Zaheri L. Management of household waste collection using WAGS software (Case study: 22 region of Tehran). Journal of Environmental Science and Technology. 2010;12(3):113-26 (in Persian).
  21. Majlessi M, Mahdipoor F, Shamsaee V, Sharifi-Maleksari H, Darvar P. Solid waste collection and transportation cost analysis of region 1 of Bandar-Abbas city. Journal of Health in the Field. 2013;1(1):37-45 (in Persian).
  22. Thailand Greenhouse Gas Management Organization. Inventory and mitigation measures for waste sector in Thailand. Bangkok: Thailand Greenhouse Gas Management Organization; 2010.
  23. Xu L, Gao P, Cui S, Liu C. A hybrid procedure for MSW generation forecasting at multiple time scales in Xiamen City, China. Waste Management. 2013;33(6):1324-31.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



## Predicting Municipal Solid Waste Generation through Time Series Method (ARMA Technique) and System Dynamics Modeling (Vensim Software)

A Ebrahimi<sup>1</sup>, MH Ehrampoush<sup>2</sup>, H Hashemi<sup>3</sup>, M Dehvari<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Environmental Science and Technology Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

<sup>2</sup> Professor, Environmental Science and Technology Research Center, Department of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

<sup>3</sup> Research Center for Health Sciences, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

<sup>4</sup> MSc Expert, Environmental Science and Technology Research Center Department of Environmental Health Engineering, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 23 January 2016

**Revised:** 12 April 2016

**Accepted:** 19 April 2016

**Published:** 6 June 2016

**Key words:** Solid Waste, Isfahan, GEE model, ARMA technique, dynamics modeling, Vensim software

### \*Corresponding Author:

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

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Predicting municipal solid waste generation has an important role in solid waste management. The aim of this study was to predict municipal solid waste generation in Isfahan through time series method and system dynamics modeling.

**Materials and Methods:** Verified data of solid waste generation was collected from Waste Management Organization and population information was collected from the National Statistics Center, Iran for the period 1996-2011. Next, the effect of factors on solid waste generation such as population, urbanization, gross domestic product was investigated. Moreover, the relationship between each of these factors was identified using generalized estimating equation model. Finally, the quantity of the solid waste generated in Isfahan City was predicted using system dynamics modeling by Vensim software and time series method by ARMA technique.

**Results:** It was found that population and gross domestic product have a significant relationship with the amount of solid waste with P value 0.026 and 0 respectively. The annual average of municipal solid waste generation would be 1501.4 ton/day in 2021 estimated by the time series method and 1436 ton/day estimated by the system dynamics modeling. In addition, average annual growth rate achieved was 3.44%.

**Conclusion:** According to the results obtained, population and gross domestic product have a significant effect on MSW generation. Municipal solid waste generation will increase in future. Increasing solid waste is not the same in different areas and methods. The prediction of the time series method by ARMA technique gives precise results compared with other methods.

Please cite this article as: Ebrahimi A, Ehrampoush MH, Hashemi H, Dehvari M. Predicting municipal solid waste generation through time series method (ARMA technique) and system dynamics modeling (Vensim software). Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):57-68.