

ارائه الگوی مدیریت پسماند با استفاده از الگوریتم کوانتومی

علی خسروی مقدم

دانشجوی دکتری گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

سید احمد شایان نیا^۱

گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

محمد مهدی موحدی

گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

خسرو عزیزی

گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۱۹ تاریخ صدور پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۰

چکیده

یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت مناسب پسماند که در حال حاضر به عنوان اولویت اول در مدیریت پسماند شهری در بسیاری از کشورها در کانون توجه قرار گرفته است، مدیریت هزینه‌ها و تفکیک و جداسازی پسماند در جهت ایجاد درآمد است. تحقیق پیشرو با استفاده از آمار مربوط به جمعیت ساکن، تولید و تفکیک پسماند و به کمک الگوریتم کوانتومی، به ارائه الگویی برای مدیریت پسماند نواحی مختلف منطقه ۴ تهران طی ماه‌های مختلف سال‌های ۹۶ پرداخته است. ناحیه ۷ با بیش از ۱۸۲ هزار نفر و ناحیه ۸ با بیش از ۵۲ هزار نفر، به ترتیب پرجمعیت و کم‌جمعیت‌ترین ناحیه منطقه ۴ به حساب می‌آیند. ناحیه ۷ در سال ۹۶ با تولید پسماند بیش از ۴ تن بیشترین میزان تولید پسماند را در بین نواحی نه گانه منطقه ۴ داشته است، به گونه‌ای که به تنهایی بیش از ۳ برابر ناحیه ۹ پسماند تولید کرده است. به طور میانگین می‌توان گفت در سال‌های ۹۶ تقریباً ۲۳/۱۵ درصد از کل پسماند منطقه ۴ شهر تهران به صورت تفکیک جمع‌آوری شده است. در همین سال ناحیه ۷ با ۲۳/۷۳ درصد بهترین ناحیه و ناحیه ۶ با ۱۵/۳۴ درصد کم‌کارترین ناحیه در این زمینه بوده است.

کلمات کلیدی: مدیریت پسماند، تولید پسماند، الگوریتم کوانتومی.

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت، پیشرفت علوم و تکنولوژی، توسعه صنعت و شهرنشینی و رفاه، زمینه‌های مصرف بیشتر و رشد فزاینده مواد زائد را باعث شده است، به طوری که سالانه مقادیر انبوهی از پسماند در محیط زیست تخلیه می‌شوند. دفع پسماند حاصل از مصرف، یکی از عوامل اصلی آلودگی خاک، آب و بعضاً هوا محسوب می‌شوند که در حال حاضر بخش‌های بسیاری از نظام اکولوژیک و حیات بسیاری از جانداران خصوصاً انسان را با تهدید جدی مواجه کرده است. افزایش رو به تزاید مواد زائد و تبعات ناشی از تخلیه آن‌ها در محیط زیست در اغلب کشورهای جهان، خصوصاً کشورهای در حال توسعه که با محدودیت شدید مالی، تکنولوژیک و نیروهای متخصص مواجه هستند، یک چالش جدی برای این دولت‌ها محسوب شده و آن‌ها با مشکلات عدیده‌ای در این زمینه روبه‌رو هستند. بررسی علمی مسئله زباله و برخورد منفی در آن در کشورهای در حال توسعه و از آن جمله در ایران به علت عدم تصور فرهنگی (که این مسئله را جدی تلقی نمی‌نماید) نه تنها امری است مشکل، بلکه در شرایطی که این کشورها با انبوهی از مسائل اقتصادی، سیاسی و اجتماعی گریبان گیرند تا حدی دست‌نیافتنی به نظر می‌رسد (هاشمی، ۱۳۸۱: ۳). افزایش جمعیت تهران با افزایش مصرف و در نهایت پسماندهای ناشی از آن در ارتباط است. ترکیب جدید پسماندهای شهری و دگرگونی شکلی آن، با سیستم بسته‌بندی نوین در مقایسه با گذشته تفاوت فراوانی یافته است به طوری که سیستم بسته‌بندی جدید در نهایت سبب افزایش میزان زائدات و زباله‌های جامد و غیرقابل بازیافت توسط طبیعت شده است. تحول در خدمات ارائه شده در رابطه با جمع‌آوری و دفع مواد زائد، گام در دوره جدیدی نهاده است و با رشد شهر ایستگاه‌های مختلف جمع‌آوری در سطوح محلات و نواحی، نوعی پراکندگی و توزیع نوین فضایی - مکانی را از لحاظ ارائه سرویس خدمات شهری به نمایش می‌گذارد. از سوی دیگر توجه به نکات اجتماعی و اقتصادی و سطح رفاه در محلات مختلف می‌تواند در ارتباط مستقیم با تولید زباله قرار گیرد. همان‌طور که می‌دانیم عادات مصرف در نقاط مختلف شهری تفاوت‌های فراوانی دارد. ما باید به این سؤال پاسخ دهیم که آیا یک طبقه مرفه در منطقه ثروتمند نشین همان و میزان زباله تولید می‌کند که یک فقیر در نقاط فقیرنشین؟ آیا ترکیب پسماند آن‌ها شبیه به هم است یا خیر؟ (اسکندری نوده، ۱۳۸۴: ۲). تاریخچه بازیافت در ایران را می‌توان به چهار دوره تقسیم کرد:

دوره اول: از سال ۱۲۸۲ شمسی (۱۲۲۵ هجری قمری) از زمان تصویب قانون بلدیة نظافت شهری به عهده شهرداری بوده است. از اوایل سال ۱۲۹۰ شمسی، در شهرهای مختلف کشور شهرداری‌ها ایجاد شد و ارائه خدمات شهری از جمله نظافت شهری در تجدید نظر قانون بلدیة و وضع قوانین جدید همچنان به عهده شهرداری‌ها بود. در ایران به رغم سابقه طولانی سازمان‌های محلی و قدمت تشکیل برخی از شهرداری‌ها (بیش از ۹۰ سال) به عنوان مسئولان مدیریت پسماندهای شهری، در این زمینه فعالیت اساسی و اصولی انجام نشده و تا دهه‌های اخیر تحولات این امر چندان محسوس و با اهمیت نبوده است. روش سنتی مدیریت، دور کردن پسماندهای خانگی و تجاری از محله‌ها و

مناطق شهری بود. در آن زمان مردم با روش بسیار ساده برای دفع پسماندهای خانگی با یکدیگر و شهرداری مشارکت می‌کردند.

دوره دوم: از دهه ۱۳۴۰ کم و بیش در شهرهای بزرگ کشور ادامه داشت و با تغییر شرایط اقتصادی و اجتماعی در این دهه و افزایش جمعیت شهرها، کمیت و کیفیت پسماندها تغییر یافت. «انبار پسماند» در سطح شهر و مکان‌های موقت و همچنین بازیافت‌های غیرقانونی، موجب آلودگی‌های زیست‌محیطی و بهداشتی برای شهروندان و نارضایتی آنان می‌شد. این امر موجب تجدیدنظر در قانون قبلی و تصویب قانون شهرداری شد. بر اساس ماده ۵۵ قانون شهرداری مصوب ۱۳۳۴، وظایف شهرداری در زمینه نظافت محیط شهری، نظیف و نگهداری معابر و انهار عمومی و مجاری آب‌ها و فاضلاب و تنقیه قنوات مربوط به شهر است. بر اساس تبصره ۴ ماده ۵۵ قانون، شهرداری مکلف است محل‌های مخصوصی برای تخلیه پسماند و نخاله و فضولات ساختمانی و مواد رسوبی فاضلاب‌ها و نظایر آنها تعیین کند و با انتشار آگهی به اطلاع عموم برساند. محل‌های تخلیه پسماند باید خارج از محدوده شهر تعیین شود و محل تأسیس کارخانه‌های تبدیل پسماند به کود به تشخیص شهرداری خواهد بود.

دوره سوم: از اوایل دهه ۱۳۶۰ در شهرهای بزرگ به دستگاه مدیریت پسماندهای شهری توجه بیشتری شد و سازمان‌های بازیافت در کلان‌شهرها تشکیل شد. وظیفه اصلی این سازمان‌ها در ابتدا بازیافت مواد، تولید انرژی از پسماند و سامان بخشیدن به مدیریت پسماندهای شهری بود اما در کل جمع‌آوری، انتشار اطلاعات، آگاه‌سازی و انجام بعضی اقدام‌های مدیریتی عملکرد آنها را نشان می‌دهد. در این زمینه شهرداری تهران با این تفکر که پسماندها نباید در سطح شهر پراکنده شود، از سال ۱۳۶۴ دستگاه جدید مدیریت جمع‌آوری و دفع پسماندها را آغاز کرد که منجر به جمع‌آوری روزانه حدود ۷ هزار تن پسماند در سطح شهر شد، ضمن آنکه هزار و ۲۰۰ مرکز غیربهداشتی ذخیره‌های موقت در سطح شهر برچیده و به جای آن کانتینر نصب شد.

دوره چهارم: در سال ۱۳۷۶ سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران متن پیشنهادی «قانون پسماند» را تهیه و به صورت طرح به مجلس تقدیم کرد اما به نتیجه نرسید. این قانون در سال ۱۳۸۳ به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید. آیین‌نامه اجرایی آن نیز در سال ۱۳۸۴ توسط هیئت دولت، تصویب و برای اجرا به سازمان حفاظت محیط زیست و وزارت کشور ابلاغ شد.

رویکرد مفهومی و نظری

به مجموعه فعالیت‌های یکه برای برنامه‌ریزی، ساماندهی، مراقبت و عملیات اجرایی مربوط به تولید، ذخیره‌سازی، جمع‌آوری، حمل، دفع و پردازش پسماندها و همچنین آموزش و اطلاع‌رسانی در این زمینه‌ها انجام می‌شود مدیریت پسماند می‌گویند. امروزه جمع‌آوری و دفع اصولی پسماندها و مدیریت هزینه‌ها آنها از مهم‌ترین مسائل و مشکلات پیش روی برنامه‌ریزی شهری بوده و متعاقب آن روش‌های متعددی برای مدیریت پسماند شهری توسعه پیدا کرده است. در حقیقت امروزه مدیریت پسماند یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و پیچیده‌ترین مشکلات مسئولین شهری در هر کشور می‌باشد. برآورد مقدار و ترکیب پسماند، اولین گام مطالعات در زمینه مدیریت پسماند محلی می‌باشد. براین

اساس، در نواحی که مقدار زایدات و رودی به فرآیندهای پردازش یا دفع نظیر زباله سوزها، مراکز دفن و تصفیه‌خانه‌ها، در گذشته اندازه‌گیری و وزن شده است، می‌توان برنامه‌ریزی‌های کنونی را با اطمینان و اعتماد بیشتری در خصوص کمیت پسماند تولیدی انجام داد. در نقطه مقابل، در صورتی که اطلاعات دقیق کمیت پسماند در دسترس نباشد، تعیین و برآورد مقادیر مورد انتظار، به عنوان یک چالش جدی مطرح خواهد شد.

مدیریت پسماند شهری بخشی از مدیریت شهری تعریف می‌گردد و شامل فنون تخصصی و فرآیندهای خاص خود می‌باشد. پسماند شهری شامل تمام مواد زاید حاصل از فعالیت‌هایی است که در شهر صورت می‌گیرد و از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی تنوع بسیار زیادی دارند. مدیریت مواد زاید جامد را می‌توان به یک فعالیت میان بخشی پایه‌ریزی شده و بر اساس اصول مهندسی و اقتصادی بین عناصر مختلف آن یعنی تولید، ذخیره در محل، جمع‌آوری، حمل و نقل، پردازش و بازیافت و نهایتاً دفع مواد زاید جامد اطلاق نمود. پسماند جامد شهری شامل مواردی همچون کالاهای و مواد با دوام و بی‌دوام، ظروف و مواد بسته‌بندی‌ها، دورریزهای غذایی، شاخ و برگ زاید درختان و دیگر مواد آلی و غیر آلی دورریز شده در مناطق مسکونی، تجاری، اداری و صنعتی می‌باشد. پسماندهای مسکونی در واحدهای مسکونی و توسط افراد ساکن در آنها تولید می‌شود. منابع تولید پسماندهای تجاری شامل خرده‌فروش‌ها، عمده‌فروش‌ها و مراکز فعالیت‌های خدماتی و سرویس‌دهی در جامعه می‌باشد زباله‌های اداری توسط مدارس، بیمارستان‌ها و مراکز دولتی تولید می‌گردد. پسماندهای صنعتی ناشی از فعالیت‌های انجام شده در مراکز اداری و بهره‌برداری صنایع بوده و زایدات ناشی از مراحل پردازش و تولید صنایع را در برنمی‌گیرد.

جدول ۱: منابع پسماند شهری

منابع	انواع پسماند جامد تولیدی
مسکونی	اسباب و وسایل منزل، روزنامه، البسه، ظروف یک‌بارمصرف، بسته‌بندی‌های غذایی، قوطی‌های کنسرو، بطری، دورریزهای غذایی، شاخ و برگ زاید درختان و زایدات باغبانی
تجاری	کارتن، پسماندهای غذایی، کاغذهای اداری، ظروف یک‌بار مصرف، زایدات باغبانی
اداری	کاغذهای اداری، پسماندهای تولیدی در اتاق‌های استراحت و بوفه‌ها، پسماندهای مربوط به کلاس‌های درس، زایدات باغبانی
صنعتی	کارتن، دورریزهای تولیدی در ناهارخوری‌ها، کاغذهای اداری، پالت‌های چوبی

منبع: (سازمان بازیافت و تبدیل مواد زاید شهرداری تهران)

کاهش پسماند یک فاکتور کلیدی و زیرساختی اساسی در ایجاد جامعه پایدار است. اگرچه در سال‌های اخیر شهرداری تهران اقدامات خوبی در زمینه‌های مختلف مدیریت پسماند مانند جداسازی از مبدأ، جمع‌آوری مکانیزه و احداث کارخانه‌های کمپوست انجام داده است، ولی میزان تولید پسماند در شهر تهران نه تنها روند کاهشی نداشته است بلکه افزایش نیز یافته است. یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت مناسب پسماند شهری که در حال حاضر به عنوان اولویت اول در مدیریت پسماند شهری در بسیاری از کشورها در کانون توجه قرار گرفته است، تفکیک و جداسازی از مبدأ است. موفقیت این سیستم وابسته به مشارکت همه جانبه مردم در امر جداسازی پسماند از مبدأ است، به طوری که در صورت تفکیک پسماند در مبدأ کمک شایانی در بازیافت و دفع بهداشتی آن نموده و از آلودگی محیط زیست و از بین رفتن سرمایه‌های ملی جلوگیری خواهد شد و همچنین موجب ایجاد شغل و منبع درآمد خوبی نیز برای جوانان در این زمینه خواهد بود. برای نمونه، مطالعاتشان می‌دهد که هر تن کاغذ بازیافتی

معادل ۵۶ اصله درخت جنگلی است. در ضمن بازیافت یک تن کاغذ منجر به صرفه جویی در ۷۳۱۳ گالن آب، ۵۷۳ گالن نفت، ۱۹۶ واحد کاهش آلودگی هوا و ۵۹۶۶ کیلووات انرژی می‌شود. در ایران مصرف سرانه کاغذ بیش از ۵۵ کیلوگرم در سال است که از طریق چوب، کاه و کاغذهای باطله یا خمیرهای وارداتی تأمین می‌شود. تولید یک تن خمیر کاغذ، حدود ۵۹ کیلوگرم ضایعات آلاینده وارد محیط می‌کند.

از مزایای اجرای طرح تفکیک در مبدأ پسماند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. ارتقاء سطح فرهنگ و آموزش عمومی در ارتباط با تولید و دفع مواد زائد جامد و ترویج روحیه صرفه‌جویی
۲. بهبود شرایط بهداشتی، کاهش آلودگی‌های ناشی از تولید زباله و حفظ محیط‌زیست
۳. صرفه‌جویی در مصرف منابع طبیعی و بازگشت منابع قابل‌استفاده به چرخه تولید
۴. بهینه‌سازی شیوه‌های جمع‌آوری و حمل و نقل مواد جامد زائد و نظافت شهری
۵. کاهش میزان دفن پسماندها و افزایش طول عمر مراکز دفن
۶. کمک به اقتصاد کلان کشور.

۷. ایجاد زمینه‌های اشتغال و جذب سرمایه‌های بخش خصوصی

۳- وضعیت تولید زباله در جهان و ایران

سرانه تولید زباله در کشورهای کم درآمد ۰/۴ تا ۰/۹ کیلوگرم، در کشورهای با درآمد متوسط ۰/۵ تا ۱/۱ کیلوگرم و در کشورهای با درآمد بالا ۱/۱ تا ۵ کیلوگرم است، ولی متغیر فوق برای ایران ۰/۶۶ کیلوگرم برآورد شده است. حدود ۸۴ درصد از کل زایدات شهری در آمریکا دفن می‌شود. در آمریکا دفن بهداشتی زباله از سال ۲۰۰۰ به بعد رفته رفته کاهش یافته و تبدیل زائدات و بازیافت، مورد توجه قرار گرفته است. البته در حال حاضر فقط ۱۰ درصد زباله‌های آمریکا بازیافت می‌شود، در حالی که این میزان در کشورهای اروپایی ۲۵ درصد است. وضعیت دفع زباله در کشورهای فرانسه به ترتیب ۵۶ درصد دفن بهداشتی، ۲۷ درصد بازیافت و ۱۷ درصد زباله‌سوزی اعلام شده است و از کل زباله‌ها در آلمان، ۲۹ درصد زباله‌سوزی، ۶۰ درصد دفن بهداشتی و ۱۱ درصد به کود آلی تبدیل می‌شود- (همشهری، ۱۳۸۴: ۱۵).

۴- بررسی و تحلیل وضعیت تولید زباله در شهر تهران:

در حال حاضر شهر تهران با جمعیتی بالغ بر ده میلیون نفر، روزانه بیش از ۷۰۰۰ تن زباله تولیدی دارد که برای این حجم عظیم زائدات باید تدبیر کارشناسی و مدیریتی مبتنی بر اصول مهندسی اندیشید و اعمال نمود.

مناطق ۴ و ۱۸ بازبانه تولیدی سالانه ۲۸۷۲۴۱۳۵ کیلوگرم که از این مقدار ۱۹۷۳۶۳۴۵ کیلوگرم متعلق به منطقه و ۸۹۸۷۷۹۰ کیلوگرم متعلق سهم منطقه ۱۸ می‌باشد بیشترین زباله تولیدی را دارند. در مقابل منطقه ۹ با داشتن مجموع ۳۴۷۶۴۰۰ کیلوگرم زباله کمترین زباله تولیدی را داشته است. این منطقه از ۲ ناحیه تشکیل شده و کوچک‌ترین منطقه به حساب می‌آید (سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران: ۱۳۸۳: ۹ تا ۱۱)

۵- ترکیب فیزیکی پسماندهای جامد شهری:

نتیجه تخلیه پسماندهای جامد شهری بدون هیچ‌گونه جداسازی به داخل ظروف، یک ترکیب فیزیکی پیچیده می‌باشد

که تصفیه آن مشکل‌تر است. شناخت ترکیب فیزیکی پسماند جامد شهری و ارزیابی آن جهت طراحی روش‌ها و تکنولوژی‌های مورد استفاده جهت تصفیه آن بسیار حائز اهمیت است. همچنین شناخت خصوصیات فیزیکی پسماندها جهت تعیین یک پسماند جامد شهری معمول از نظر شاخص‌های ارزیابی نظیر پتانسیل و میزان بازیافت و مواد بازیافتی اهمیت دارد. در جدول (۲) ترکیب فیزیکی پسماند جامد شهری ایران، تهران و منطقه ۴ تهران نشان داده شده است.

جدول ۲: ترکیب فیزیکی پسماند جامد شهری

عنوان	مواد آلی	کاغذ و مقوا	پلاستیک	فلزات	لاستیک	منسوجات	شیشه	چوب	سایر و مواد
ایران	۷۲/۰۴	۶/۴۳	۷۷/۷	۲/۵۲	۱/۱۴	۲/۸۶	۲/۰۳	۱/۱	۴/۱۱
تهران	۷۴/۵۶	۵/۰۴	۶/۲۵	۲/۴۸	۱/۱۱	۳/۲۹	۲/۰۳	۱/۸۲	۳/۴۲
منطقه ۴	۷۵/۱۳	۵/۶۳	۶/۰۳	۲/۵۳	۱/۰۵	۳/۲۲	۲/۱۳	۱/۵۳	۲/۶۵

منبع: (یافته‌های پژوهش)

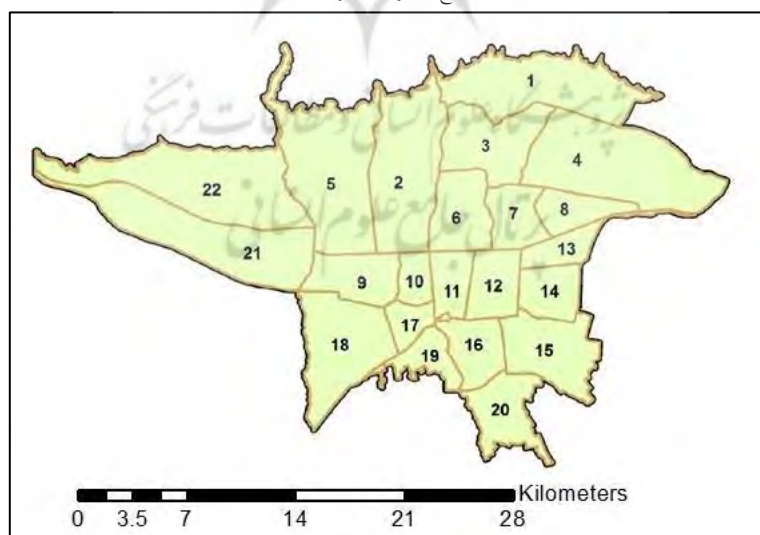
محیط مورد مطالعه پژوهش

تحقیق پیشرو به بررسی میزان پسماند تفکیک شده نواحی منطقه ۴ در سال ۹۵-۹۶ با استفاده از الگوریتم کوانتوم پرداخته است. در گام اول، جمعیت ساکن هر ناحیه مطابق جدول ۳ آمده است. جمعیت منطقه ۴ بیش از ۸۸۵ هزار نفر با نرخ رشد ۱/۴۴ درصد برآورد شده است که در این منطقه ناحیه ۷ با جمعیتی بالغ بر ۱۸۲۵۹۵ نفر و ناحیه ۸ با جمعیتی حدود ۵۲۴۹۷ نفر به ترتیب پرجمعیت‌ترین و کم‌جمعیت‌ترین نواحی منطقه محسوب می‌شوند.

جدول ۳: نواحی نه گانه منطقه ۴

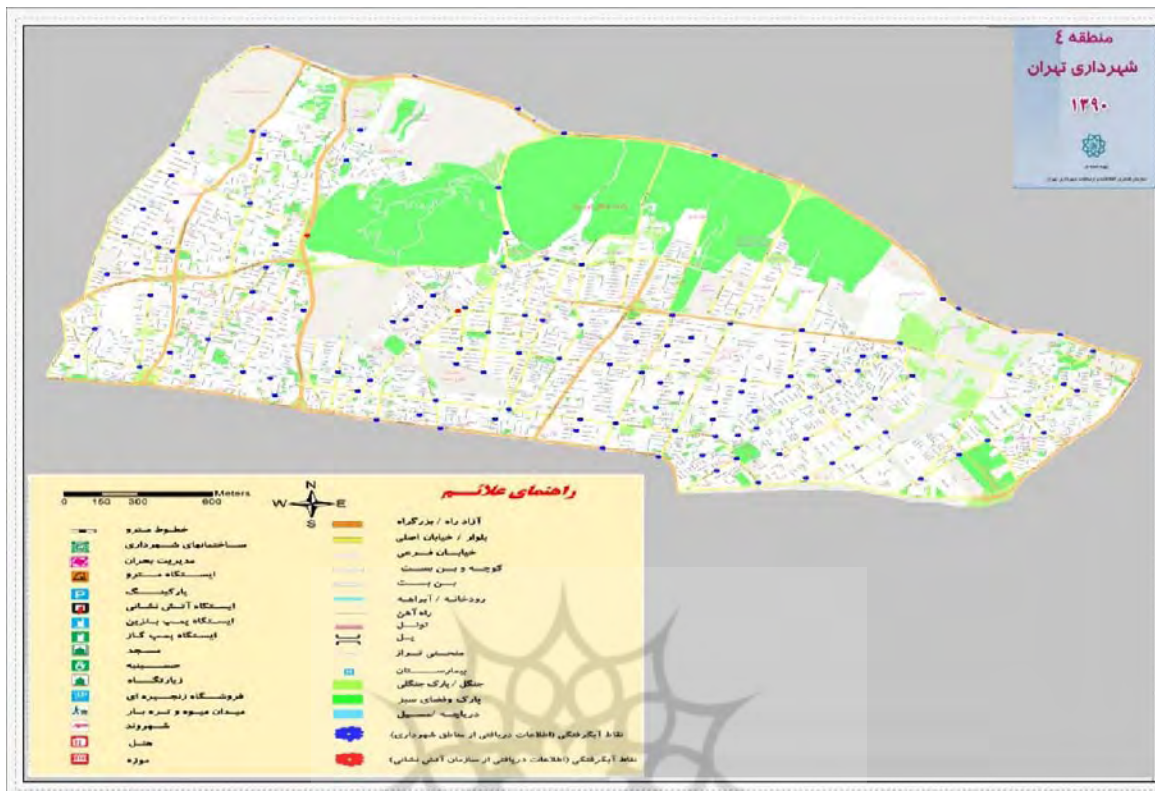
ناحیه ۱	ناحیه ۲	ناحیه ۳	ناحیه ۴	ناحیه ۵	ناحیه ۶	ناحیه ۷	ناحیه ۸	ناحیه ۹
۵۷۵۵۸	۷۲۱۳۳	۱۰۷۷۶۱	۸۳۰۰۰	۱۰۳۹۱۱	۱۵۹۷۴۳	۱۸۲۵۹۵	۵۲۴۹۷	۷۵۵۸۵

منبع: (شهرداری تهران)

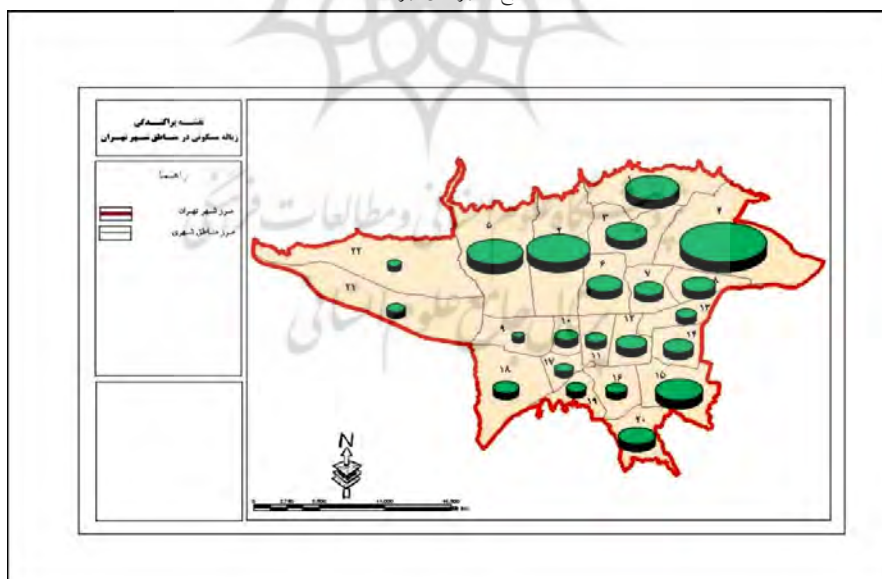


شکل ۱: نمایی کلی از مناطق تهران

منبع (<https://www.researchgate.net>)



شکل ۲-نمایی از منطقه چهار شهرداری تهران
منبع: (شهرداری تهران)



شکل ۳: پراکنندگی زیاده مسکونی شهر تهران
منبع: (سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران)

بررسی میزان پسماند تولیدی نواحی نه گانه منطقه ۴ شهر تهران به تفکیک ماه‌های سال

همان طور که از بررسی نواحی نه گانه به دست می‌آید ۵ به این نتیجه خواهی رسید که درست است که برخی مناطق بیشترین تولید پسماند را دارند اما زمانی که به تولید سرانه پسماند آن‌ها می‌نگرید متوجه خواهی شد که تولید

پسماند آن‌ها در بیشتر ماه‌های سال بسیار پایین‌تر از نواحی دیگر است با اینکه جمعیت آن‌ها شاید دو برابر نواحی دیگر باشد. برای مثال: ناحیه ۷ تقریباً دو برابر ناحیه ۸ جمعیت دارد، میزان تولید پسماند ناحیه ۷ نیز تقریباً ۳/۵ برابر ناحیه ۸ است اما تولید سرانه پسماند توسط هر نفر در مهرماه برای ناحیه ۸ تقریباً دو برابر ناحیه ۷ است.

پیش‌بینی سرانه تولید پسماند توسط الگوریتم کوانتومی

شکل (۳)، چاه پتانسیل مربعی را نشان می‌دهد که ناحیه II همان احتمال حضور ذره در بازه a تا b می‌باشد. معادله شرودینگر در این حالت پایدار به شکل زیر است:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \lambda\psi = 0$$

ψ ، همان تابع حالت ما است. d ، دیفرانسیل یا همان عمل مشتق‌گیری را انجام خواهد داد. x موقعیت ذره و λ نیز ثابت مثبت است. در ناحیه I نیز، یک نسخه پایدار از معادله شرودینگر به صورت زیر داریم:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} - \theta\psi = 0$$

که x موقعیت ذره و θ ثابت مثبت است که به ماده متشکل از چاه در ناحیه I مربوط می‌شود و حل عمومی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\psi_1 = Ce^{\sqrt{\theta}(x-a)} + De^{-\sqrt{\theta}(x-a)}$$

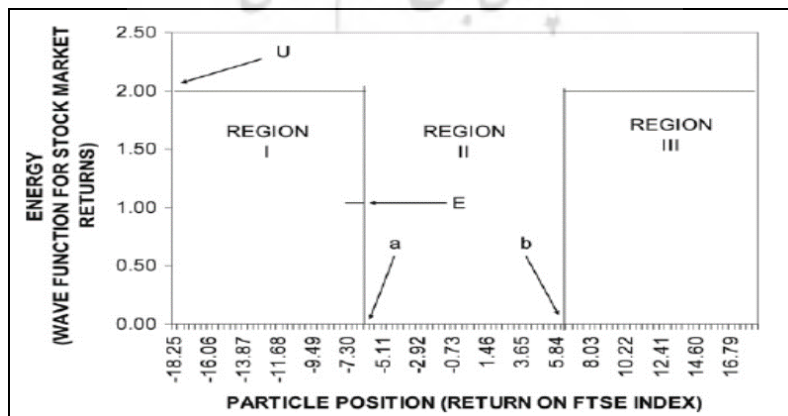
D و C نیز ثابت‌هایی هستند که باید تعیین شود. به صورت مشابه در ناحیه III در حالت پایدار از معادله شرودینگر داریم:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} - \gamma\psi = 0$$

که x موقعیت ذره و γ یک ثابت مثبت است و حل عمومی این معادله هم به صورت زیر می‌باشد:

$$\psi_{III} = Fe^{\sqrt{\gamma}(x-b)} + Ge^{-\sqrt{\gamma}(x-b)}$$

F و G هم ثابت‌های معادله می‌باشند. (عطاءالله، ۲۰۰۹)



شکل ۴: چاه پتانسیل

منبع: (عطاءالله و همکاران، ۲۰۰۹)

در این پژوهش فقط با ناحیه II که همان احتمال حضور ذره را در بازه a تا b نشان می‌دهد سروکار داریم و همان‌طور که بیان شد معادله شرودینگر در این حالت پایدار به شکل زیر است:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \lambda\psi = 0$$

که به جای متغیر x مقدار P که همان میزان تولید پسماند است در نظر گرفته شده و مقدار λ (لاندا) به عنوان عدد ثابت محاسبه شده است. برای محاسبه مقدار λ ، میزان تولید پسماند در طی یک سال و به تفکیک ماه‌های مختلف نظر گرفته شده است. سپس مقدار λ بر اساس این داده‌ها محاسبه شده که بهترین حالت برای آن $\lambda = 0.1$ است. (به بیانی ساده‌تر داده‌ها بر اساس توابع فیزیکی نرمال شده‌اند و این مقدار بر اساس مقادیر نرمال محاسبه شده است). حل عمومی این معادله یا تعیین مقدار ψ_{\square} به شکل زیر است:

$$\psi_{\square} = A \sin\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right) + B \cos\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

در بازه a تا b و $A=B$. با توجه به توضیحات قبلی می‌توان ارزیابی میزان تولید پسماند را به صورت تابع موج ψ_x تشریح نمود. مربعی بودن تابع موج، $\psi^2(x)$ را به صورت چگالی احتمال ذره در بازه a تا b تفسیر می‌کند و از آنجا که احتمال حضور ذره (میزان تولید پسماند) در بازه a تا b، یک می‌باشد، دامنه (A) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\int \psi^2(x) dx = 1$$

$$\psi(x) = A \sin\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right) + A \cos\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right)$$

$$\psi^2(x) = \left(A \sin\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right) + A \cos\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right)^2$$

$$\int_1^{366} \left(A \sin\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right) + A \cos\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right)^2 dx = 1$$

$$\int_1^{366} \left(A^2 \sin^2\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right) + A^2 \cos^2\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right) + 2A^2 \sin\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cos\left(\lambda(x-a) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \right) dx = 1$$

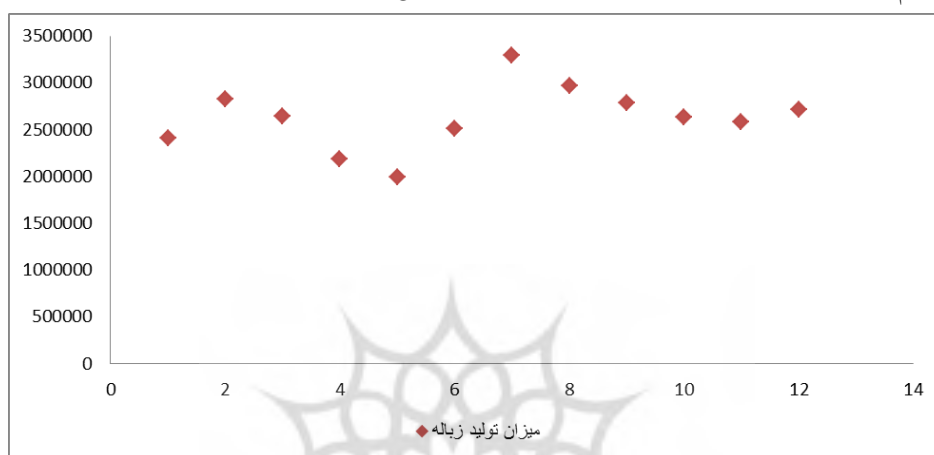
$$\Rightarrow \int_1^{366} A^2 \left(\sin^2\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) + \cos^2\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) + \left(2 \sin\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) \times \cos\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) \right) \right) dx = 1$$

$$\Rightarrow A^2 \left(\int_1^{366} \sin^2\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) dx + \int_1^{366} \cos^2\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) dx + \int_1^{366} 2 \sin\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) \times \cos\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) dx \right) = 1$$

$$\Rightarrow \left(\int_1^{366} \sin^2\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) dx + \int_1^{366} \cos^2\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) dx + \int_1^{366} 2 \sin\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) \times \cos\left(\frac{\lambda\pi}{180}(x-a)\right) dx \right) = M$$

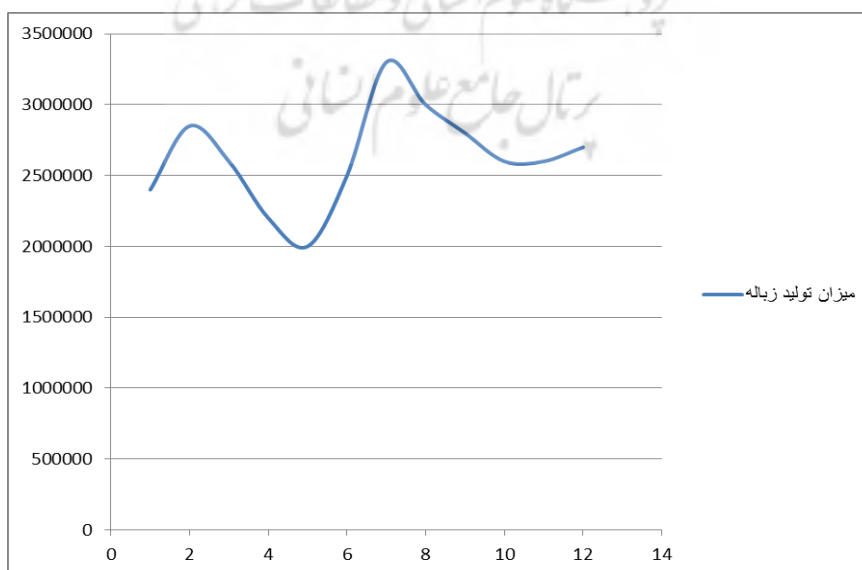
$$\Rightarrow A^2(M) = 1 \Rightarrow A = \frac{1}{\sqrt{M}} \Rightarrow A = \frac{1}{\sqrt{9410.687197}}$$

همچنین با استفاده از تابع $P = \int_a^b \psi^2(p,t) dp$ می‌توان احتمال وقوع یک رخداد را پیش‌بینی کرد: یعنی احتمال اینکه میزان تولید پسماند در بازه قیمتی a تا b و در زمان t (ماه) چقدر می‌باشد را تعیین می‌نماید. به منظور ارزیابی توانایی معادله (معادله درجه ۴ ای که طراحی شد) برای محاسبه میزان تولید پسماند طی یک دوره زمانی مشخص و مقایسه آن با مقادیر واقعی، ابتدا میزان تولید پسماند کل ناحیه‌ها را طی سال ۱۳۹۶ مرتب نموده و نمودار تغییرات و حرکت آن ترسیم شده است. برای مثال ناحیه ۵ منطقه ۴ مورد بررسی قرار گرفته است، به نمودارهای زیر توجه کنید.



نمودار ۱: تولید واقعی پسماند در ناحیه ۵ طی سال ۹۶ منبع: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

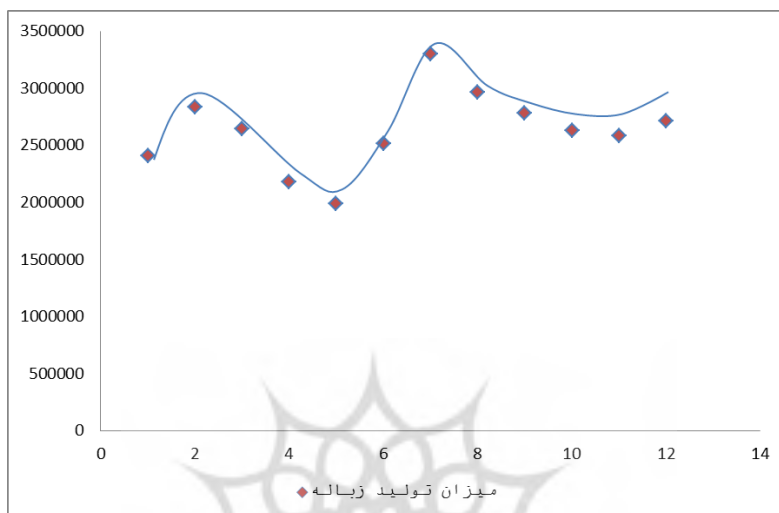
نمودار فوق روند تغییرات مربوط به میزان تولید پسماند در ناحیه ۵ منطقه ۴ تهران را طی سال ۹۶ نشان می‌دهد. از ابتدای سال با عدد ۲۴۱۰۱۲۱ شروع و در ماه‌های تیر و مرداد کاهش یافته است ولی بعد از این ناحیه مجدداً از اواخر مردادماه سیر صعودی را طی نموده که در اواخر سال به عدد ۲۷۱۲۱۰۰ رسیده است. بدین منظور و با استفاده از اطلاعات مربوط به تغییرات شاخص طی سال ۹۶، معادله درجه ۴ ای از طریق آزمون و خطا و به کمک نرم‌افزار maple به نتایج زیر که به شکل نمودار ارائه شده دست پیدا کرده:



نمودار ۲: تغییرات و حرکت مقادیر استخراج شده از تابع طراحی شده درجه ۴

منبع: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

این نمودار تقریباً همخوانی مورد قبولی با نمودار طراحی شده از داده‌های واقعی یعنی نمودار (۲) دارد. مقادیر نمودار فوق نیز از عدد ۲۴۰۰۰۰۰ از ابتدای سال شروع و به عدد ۲۷۰۰۰۰۰ در آخر سال می‌رسد. داده‌های این نمودار تماماً استخراج شده از معادله طراحی شده درجه ۴ است که به وسیله نرم‌افزار maple محاسبه و طراحی شده است.



نمودار ۳: مقایسه مقادیر مربوط به داده‌های شاخص کل و مقادیر محاسبه شده توسط معادله درجه ۴ منبع: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

همان‌طور که مشاهده می‌شود این مقادیر بسیار به هم نزدیک است. داده‌های به دست آمده از تابع طراحی شده با داده‌های واقعی از طریق نرم‌افزار "spss" مورد تحلیل قرار گرفت که نتایج حاصل از آن به صورت زیر بیان می‌شود:

جدول ۶: ویژگی‌های مربوط به متغیرهای مقادیر واقعی و مقادیر به دست آمده از معادله طراحی شده

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	General	3.0016E4	366	4954.12742	258.95639
	Formula	3.0016E4	366	4895.08492	255.87019

منبع: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

جدول ۷: رابطه بین داده‌های واقعی شاخص کل و شاخص‌های به دست آمده از طریق آزمون

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	General & Formula	366	.988	.000

منبع: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

جدول (۲) نشان می‌دهد همبستگی بین داده‌های واقعی و داده‌های تابع طراحی شده بسیار نزدیک و در سطح اطمینان ۱ درصد هم مورد تأیید است. یعنی در واقع هر دو یکی هستند.

جدول ۸: تفاوت میانگین‌ها با استفاده از آزمون pair T-Test

	Paired Differences	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
Pair 1	General - Formula	-.06011	762.49815	39.85642	-78.31692	78.43714	.002	365	.999

منبع: (یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

جدول (۸) نشان می‌دهد تفاوت بین داده‌های واقعی و داده‌های تابع طراحی شده بسیار ناچیز است و در سطح اطمینان ۱ درصد هم این دو تفاوتی ندارند. از نظر علمی این دو یکی هستند.

نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی

در طول تاریخ بشری رابطه انسان با محیط‌زیست همواره به صورت تابعی از رفتار او با پیرامون طبیعی خود بوده است. این رفتار طی قرون متمادی اشکال متفاوتی به خود گرفته و روز به روز بر گستردگی و پیچیدگی آن افزوده شده است. بدین ترتیب انسان‌ها از آغاز زندگی یکجانشینی، همواره پس‌ماندها را به طریقی از محیط زندگی خود دور می‌کردند که این کار به دلیل پائین بودن میزان جمعیت از یک سو، کمیت و کیفیت زباله‌ها از سوی دیگر دفع زباله‌ها را دچار مشکلاتی نمی‌کرد و بسیاری از مواد که زاید نامیده می‌شوند، به نوعی بازیافت شده یا در اطراف سکونتگاه‌های انسانی یا داخل آن‌ها دفع می‌شدند. ولی با افزایش جمعیت و رشد و گسترش شهرنشینی، تغییر الگوی مصرف و استفاده وسیع از موادی که به آسانی تجزیه نمی‌شوند، عوارض دفع غیر بهداشتی و بازیافت مواد زائد آشکار شد و از آن پس مدیریت این مواد به صورت منسجم توسط سازمانی مشخص در شهرهای جهان آغاز گردید. می‌توان گفت ضروری‌ترین و اصلی‌ترین دلیل اهمیت مدیریت زباله و پسماندها، ایمنی و بهداشت جامعه می‌باشد؛ اما این مدیریت باید به گونه‌ای انجام شود که کمترین آسیب را به محیط زیست وارد کند. با مدیریت درست و اصولی زباله و پسماندها، علاوه بر اینکه از آلوده شدن محیط‌زیست جلوگیری می‌شود، منابع محدود طبیعی زمین نیز به طور بهینه‌تری استفاده می‌شوند. به طور مثال در مدیریت ضایعات ساختمانی، با بازیافت نخاله‌ها می‌توان مصالح جدید و کاربردی تولید کرد و دیگر برای تولید مصالح جدید از منابع طبیعی موجود استفاده نکرد.

مدیریت پسماند و زباله‌ها می‌تواند در کاهش هزینه‌های اقتصادی نیز تأثیر بسزایی داشته باشد؛ زیرا یکی از مراحل مدیریت پسماند، کنترل میزان تولید و ایجاد محصول‌هایی است که قابلیت بازیافت داشته باشند؛ بنابراین هزینه کمتری برای بازیافت و دفع زباله‌ها نیاز خواهد بود.

مدیریت پسماند به عنوان یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های جوامع بشری مطرح می‌باشد. افزایش روزافزون حجم پسماندها از یک سو و تنوع و گوناگونی آن‌ها از سویی دیگر بر پیچیدگی شرایط و نحوه جمع‌آوری و دفع آن‌ها می‌افزاید. مدیریت پسماندهای شهری به عواملی همچون تولید زوائد، جمع‌آوری، حمل و نقل، دفن زباله و بازیافت آن بستگی دارد، بنابراین محدوده مدیریت این مقوله بسیار وسیع و متغیر است، برای چنین موضوعی راهی جز مدیریت و برنامه‌راهبردی وجود ندارد.

انسان از قرن‌ها پیش به تولید زباله و پسماند می‌پرداخته و آن‌ها را به چرخه محیط زیستی وارد می‌کرده است. در هزاران سال پیش، مسئله مدیریت زباله‌های جامد اهمیت چندانی نداشت، زیرا جمعیت انسان‌ها بسیار محدود بود؛ اما امروزه با افزایش شهرنشینی و صنعتی شدن کشورها، تولید زباله‌های جامد شهری افزایش چشمگیری پیدا کرده است و در نتیجه اهمیت مدیریت آن‌ها نیز بیشتر شده است.

برای آن که بتوانیم از آسیب‌های ناشی از زباله‌ها در امان بمانیم، لازم است تا شیوه صحیح مدیریت زباله‌های جامد شهری را مدنظر بگیریم. همان‌طور که گفته شد پسماندهای جامد شهری، شامل مواد گستره‌ای از مناطق مسکونی، تجاری و گاهی صنعتی است که خواص شیمیایی و فیزیکی بسیار متفاوتی دارند. مدیریت این زباله‌ها اهمیت زیادی در مورد مسائل محیط زیستی دارد به طوری که در بسیاری از کشورهای صنعتی، به این مسئله با دید توسعه پایدار نگاه می‌کنند.

کمیت مواد زائد جامد تولیدی در شهرها و صنایع، ناهمگونی زیادی را شامل می‌شود. عوامل اقتصادی، بافت شهری، کاربری‌های زمین، عوامل فرهنگی، تراکم در واحد سطح، فصول سال و عادات اجتماعی در کیفیت و کمیت مواد مؤثر هستند. به عبارت دیگر، فاکتورهای زیادی در امر تولید مواد زائد شهری تأثیر دارند. به همین دلیل هم طراحی سیستم مدیریت مواد زائد جامد شهری از حساسیت و ویژگی‌های خاصی برخوردار است.

یکی از بزرگ‌ترین مشکلاتی که حجم زیاد زباله‌ها به دنبال دارد، کمبود محل دفن است که با شیوه مدیریتی دست می‌توان آن را تا حدی کنترل کرد. به طور مثال ضایعات ساختمانی یکی از پر حجم‌ترین پسماندهای جامد می‌باشند و پیدا کردن محل مناسب دفن نخاله همواره یکی از دغدغه‌های مسئولین شهری بوده است.

از لحاظ تاریخی، مهم‌ترین ضرورت‌ها در رابطه با پسماند، سلامت و ایمنی بوده است. به گونه‌ای که پسماند باید به نحوی مدیریت شود که حداقل خطر را برای سلامت انسان داشته باشد، اما جوامع امروزی نیازهای گسترده‌تری را مطرح نمودند پایداری زیست‌محیطی (چرخه بازگشت مواد به طبیعت) از طریق بازیافت و استفاده مجدد آن و بازده اقتصادی از اهم آن است. در چارچوب این ضرورت‌ها مهم‌ترین دلایل اهمیت مدیریت پسماند را می‌توان به شرح زیر ارائه نمود.

- حفظ منابع طبیعی زمین: از دهه ۱۹۷۰ به دلیل نگرانی‌ها در مورد نرخ بالای مصرف منابع محدود مواد و انرژی کره زمین.

- جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست: آلودگی حتی در مقادیر کم آن باعث تغییر در وضعیت محیط‌زیست (اتمسفر، آب و خاک و...) می‌گردد و به طور حتم با ورود پسماند به چرخه طبیعت (مانند نشت شیرابه از محل‌های دفن به سفره‌های آب زیرزمینی و سایر موارد) محیط‌زیست به ویژه فضاهای شهری دچار آسیب جدی می‌شود؛ لذا نیاز فوری به یک استراتژی جامع جهت مدیریت پسماند برای کاهش فشار وارد بر محیط زیست، با هزینه‌ای مقرون به صرفه وجود دارد.

- اتخاذ رویکرد یکپارچه و جامع کاهش پسماند تولیدی و یا مدیریت پسماند تولید شده به روشی پایدار محیط زیستی و اقتصادی با توجه به سیستم جهان طبیعت و یا محیط‌های شهری نیز از ضرورت‌های توجه به مدیریت پسماند می‌باشد.

- برنامه‌ریزی و ساماندهی نظام مالی مراحل مختلف مدیریت پسماند یکی از مهم‌ترین ضرورت توجه به سیستم مدیریت پسماند می‌باشد.

به نظر می‌رسد بررسی تفکیک و جداسازی پسماند در نواحی نه گانه منطقه ۴ شهر تهران با استفاده از الگوریتم کوانتوم برای نخستین بار است که در این پژوهش صورت می‌گیرد و می‌تواند درک بهتری را از موضوع مورد نظر را فراهم آورد. با استفاده از این روش با درصد اطمینان بالا می‌توان به پیش بینی میزان تولید پسماند در هر مکان و زمان پرداخت. با توجه به این موضوع و داده‌های به دست آمده توسط الگوریتم کوانتوم به این نتایج دست پیدا کرده، بین نه ناحیه منطقه ۴ شهر تهران، ناحیه ۷ بالاترین میزان تولید پسماند با تقریباً ۴۰۲۵۳۶۰ کیلوگرم و بالاترین میزان تفکیک پسماند را با تقریباً ۲۳/۷۳ درصد دارا می‌باشد و ناحیه ۶ با تولید ماهانه تقریباً ۳۶۷۴۷۶۰ کیلوگرم و تفکیک پسماند حدود ۱۵/۳۴ درصد کم‌کارترین ناحیه در این زمینه بوده است.

با توجه به داده‌ها و یافته‌های تحقیق ملاحظه می‌شود که همبستگی کامل و مستقیمی بین نرخ جمعیت و پسماند تولیدی در منطقه ۴ شهر تهران وجود دارد بنابراین می‌توان گفت که هم‌جواری مناطق و تأثیر نرخ جمعیت مانند: زاد و ولد، مرگ و میر، سن جمعیت علت اصلی اختلاف در توزیع، تراکم و همچنین تحول شکل پسماند در مناطق تهران می‌باشد که این موضوع قابل تعمیم و دفاع است. ارتباط شکل پسماند در نواحی مختلف منطقه ۴ با نرخ جمعیت در بازه‌های مختلف زمانی با شواهدی که از نواحی مختلف منطقه ۴ به دست آمده، قابل اسناد است. همچنین از لحاظ جغرافیایی توجه به منشاء مکانی و - فضایی پسماند سبب درک صحیح مسئولین از ماهیت پسماند تولیدی در نواحی مختلف منطقه شده است که این موضوع خود می‌تواند عامل تأثیرگذار در ارتباط با خدمات و تجهیزات تخصیصی به هر ناحیه از منطقه ۴ با توجه به حجم زباله باشد. با توجه به وابستگی بحث پسماند با نرخ جمعیت قبل از انجام هرگونه اعمال مدیریتی، باید وضعیت جمعیت مؤثر در تولید پسماند و سرانه تولید هر فرد در بازه‌های زمانی مختلف مطالعه و روشن شود، زیرا میزان نرخ جمعیت و حجم تولید پسماند در بازه‌های زمانی مختلف و تخصیص خدمات و تجهیزات به عنوان یک شاخص محسوب می‌شود. همچنین مکان‌یابی ایستگاه انتقال پسماند و مخازن نگهداری زایدات در منطقه باید به گونه‌ای باشد که با جمعیت شهری منطبق بوده و از بروز ضایعات زیست‌محیطی ناشی از تراوش شیرابه و یا سایر خصوصیات ویژه زباله‌های خطرناک جلوگیری نماید. همین‌طور ایجاد مراکز تصفیه جهت بازیافت پسماندهای شهری لازم و ضروری است چرا که در صورت فقدان این تأسیسات آسیب زیست‌محیطی تهدید کننده به شمار می‌آید. با توجه به ارتباط مستقیم نرخ جمعیت شهری با بحث پسماند لزوم بازبینی در مسیر مرحله‌ای مدیریتی مطروحه در این تحقیق و افزودن عنصر جمعیت و نقش آن در چرخه تولید پسماند در بازه زمانی مختلف احساس می‌گردد.

استفاده از دانش فنی و تجارب کشورهای صاحب نام در امحاء زائدات لازم و ضروری است در این مرحله هرچند نباید جانب احتیاط را نادیده گرفت لیکن استفاده درست و بهینه از دستاوردهای علمی با توجه به شرایط فرهنگی و حتی طبیعی شهر تهران به نوعی در (کاهش زباله ارسالی به مراکز دفن) مؤثر خواهد بود. ایجاد کارخانه کمپوست و جداسازی بخش قابل توجهی از پسماندهای تر از کل پسماند، جداسازی پلاستیک، شیشه، فلزات و بازیافت آن‌ها،

استفاده مجدد از برخی اقلام چون کاغذ و مقوا، همه در سلامت و بهروزی مدیریت پسماند مؤثر می‌باشند، کما اینکه عمر مراکز دفن را نیز افزایش می‌دهد.

منابع

- Hashemi, Hashem, 1381, Garbage, The Mysterious Reality of Municipalities, Special Note No. 7 on Waste Management.
- Organization for the Recycling and Converting of Municipal Property of Tehran, 2004, Quarterly Report on Solid Waste Management in Tehran, Deputy Head of Education and Research.
- Eskandari Nodeh, Mohammad, 2005, Spatial and spatial analysis of the processes of production, collection and disposal of waste materials in urban society (Case study: Tehran), directed by Dr. Ahmadpour Ahmad, Faculty of Geography, University of Tehran.
- Tania Jafari Nasab, 1393, "Management's assessment of waste source separation in municipal planning approach (Case Study: District 4 of Tehran)", The Seventh National Conference and Exhibition on Environmental Engineering.
- Solan, W.M. 1993. Site Selection for New Hazardous Waste Management Facilities, WHO.
- T. Liu et al, (2012), "An intermediate distribution between Gaussian and Cauchy distributions", *physica A*, 5411-5421.
- L.A. Cofas, (2012), "A Quantum Mechanical Model For The Rate of Return, Faculty of Economic Cybernetics, Statistics and Informatics", ar Xiv: 1211. 1938v1 [q-fin. GN].
- P. Pedram, (2012), "The minimal length uncertainty and the quantum model for the stock market", ar Xiv: 1111. 6859v2[q-fin. GN].
- Mohammad Sadegh Hassanvand, Ramin Nabizadeh, Mohsen Heidari, 1387, "Analysis of municipal solid waste in Iran", *Journal of Health and Environmental Health Association*, Volume I, Issue I, 9-18.
- National Statistical of Iran (<http://www.amar.org.ir>)
- L. Xu, P.Ch. Ivanov, K. Hu, Z. Chen, A. Carbone, H.E. Stanley, Quantifying signals with power-law correlations: a comparative study of detrending and moving average techniques, *Phys. Rev. E* 71 (2005) 051101.
- A. Carbone, H.E. Stanley, Directed self-organized critical patterns emerging from coupled fractional brownian paths, *Proceedings of the Per Bak Memorial Volume*, *Physica A* 340 (2004) 544-551.
- A. Carbone, G. Castelli, H.E. Stanley, Time-dependent hurst exponent in financial time series, *Physica A* 344 (2004) 267-271.
- A. Carbone, G. Castelli, H.E. Stanley, Analysis of clusters formed by the moving average of a long-range correlated time series, *Phys. Rev. E* 69 (2004) 026105.
- A. Carbone, H.E. Stanley, Information-theoretical measure for self-organized critical clusters, in: *Proceedings of the International Conference on Statistical Mechanics*, Kolkata; *Physica A* (2007), accepted for publication.
- Z. Chen, P.Ch. Ivanov, K. Hu, H.E. Stanley, Effect of nonstationarities on detrended fluctuation analysis, *Phys. Rev. E* 65 (2002) 041107-1-041107-15 physics/0111103.
- K. Hu, P.Ch. Ivanov, M.F. Hilton, Z. Chen, R.T. Ayers, H.E. Stanley, S.A. Shea, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 101 (2004) 18223.
- Z. Chen, K. Hu, P. Carpena, P. Bernaola-Galvan, H.E. Stanley, P.Ch. Ivanov, Effect of nonlinear filters on detrended fluctuation analysis, *Phys. Rev. E* 71 (2005) 011104.
- Z. Chen, K. Hu, H.E. Stanley, V. Novak, P.Ch. Ivanov, Cross-correlation of instantaneous phase increments in pressure-flow fluctuations: applications to cerebral autoregulation, *Phys. Rev. E* 73 (2006) 031915.