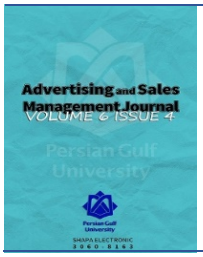


Advertising and Sales Management Journal
https://asm.pgu.ac.ir
Vol6, No4, Winter, 2026, pp.1-24
ISSN: 3060-8163
DOI: 10.22034/asm.2026.2083477.3494

Analysis of the Role of Advertising and Revenue Reinvestment in Household Waste Management in Bushehr: A System Dynamics Approach

Ahmad Ghorbanpour[1*], Heydar Ahmadi[2], Hojat Tangasir-Asl[3]

1. Associate Prof, Industrial Management, Faculty of Business and Economics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.
2. Assistant Prof, Business Management, Faculty of Business and Economics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.
3. PhD Candidate, Industrial Management, Faculty of Business and Economics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

Received: 08/01/2026 **Accepted: 05/02/2026**

Corresponding Author email: Ghorbanpur@pgu.ac.ir

Abstract

Rapid urbanization and the expansion of economic activities have made municipal solid waste management one of the key challenges of sustainable development in cities of developing countries. Inadequate infrastructure and low levels of public awareness have further increased the complexity of waste management, highlighting the need for integrated and sustainable solutions. The aim of this study is to analyze the role of advertising and the reinvestment of recycling revenues in improving the performance of household waste management in the city of Bushehr, within the framework of the circular economy and using a system dynamics approach. In this study, a conceptual model was developed using causal loop diagrams based on empirical literature and expert opinions and was designed and visualized in the Vensim software environment. Analysis of the feedback loops indicates that targeted advertising increases public awareness and citizen participation, improves source separation rates, and enhances recycling volumes. Furthermore, reallocating a portion of recycling-generated revenues to infrastructure development and public awareness campaigns creates reinforcing feedback loops that strengthen the economic and environmental sustainability of the system. The findings suggest that the simultaneous integration of advertising policies and reinvestment mechanisms, as a circular economy–oriented strategy, can be an effective approach to reducing landfilling and improving sustainable household solid waste management in the city of Bushehr.

Keywords: Municipal solid waste; System dynamics; Advertising; Reinvestment; Bushehr

نشریه مدیریت تبلیغات و فروش
https://asm.pgu.ac.ir
دوره6، شماره4، زمستان1404، پیاپی24، ص1-24
شاپا: 8163-3060
شناسه یکتا: 10.22034/asm.2026.2083477.3494

تحلیل نقش تبلیغات و بازسرمایه‌گذاری درآمدها در مدیریت پسماندهای خانگی شهر بوشهر با رویکرد پویایی سیستم

احمد قربان‌پور[1*]، حیدر احمدی[2]، حجت تنگسیراصل[3]

1. دانشیار، مدیریت صنعتی، دانشکده کسب و کار و اقتصاد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران (نویسنده مسئول).
2. استادیار، مدیریت بازرگانی، دانشکده کسب و کار و اقتصاد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.
3. دانشجوی دکتری، مدیریت صنعتی، دانشکده کسب و کار و اقتصاد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران.

دریافت: 1404/10/18 **پذیرش: 1404/11/16**

ایمیل نویسنده مسئول: Ghorbanpur@pgu.ac.ir

چکیده

رشد سریع شهرنشینی و گسترش فعالیت‌های اقتصادی، مدیریت پسماند جامد شهری را به‌عنوان یکی از چالش‌های کلیدی توسعه پایدار در شهرهای در حال توسعه مطرح ساخته است. ضعف زیرساخت‌ها و کمبود آگاهی عمومی، پیچیدگی مدیریت پسماند را دوچندان کرده و نیازمند راهکارهای جامع و پایدار است. هدف این پژوهش، تحلیل نقش تبلیغات و سرمایه‌گذاری مجدد درآمدهای حاصل از بازیافت در بهبود عملکرد مدیریت پسماند خانگی در شهر بوشهر، در چارچوب اقتصاد چرخشی و با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم است. در این مطالعه، مدل مفهومی با استفاده از نمودارهای علّی–حلقوی و بر اساس مطالعات پیشینه تجربی و نظرات خبرگان، در محیط نرم‌افزار ونسیم طراحی و ترسیم شده است. تحلیل حلقه‌های بازخوردی نشان می‌دهد که تبلیغات هدفمند موجب افزایش آگاهی و مشارکت شهروندان، ارتقای نرخ تفکیک از مبدا و افزایش حجم بازیافت می‌شود. علاوه بر این، بازگرداندن بخشی از منافع حاصل از بازیافت به سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و کمپین‌های اطلاع‌رسانی، حلقه‌های بازخورد تقویتی ایجاد کرده و پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم را تقویت می‌کند. یافته‌ها حاکی از آن است ترکیب همزمان سیاست‌های تبلیغاتی و مکانیزم‌های سرمایه‌گذاری مجدد، به‌عنوان رویکردی در چارچوب اقتصاد چرخشی، می‌تواند راهبرد مؤثری برای کاهش دفن پسماند و ارتقای مدیریت پایدار پسماند جامد خانگی در شهر بوشهر باشد.

واژه‌های کلیدی: پسماند جامد، پویایی‌شناسی سیستم، تبلیغات، بازسرمایه‌گذاری، بوشهر

مقدمه

رشد سریع شهرها همراه با افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌های اقتصادی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، موجب افزایش چشمگیر تولید پسماندهای جامد شهری شده است. این روند به‌ویژه در مورد پسماندهای پلاستیکی مشهود است؛ پسماندهایی که به دلیل مصرف رو به افزایش محصولات یک‌بار مصرف و ناکارآمدی سیستم‌های مدیریت پسماند، به یک چالش جهانی تبدیل شده‌اند (شیائو[1] و همکاران، 2022). پسماند به مواد دور ریخته شده و تولیدات روزانه افراد اطلاق می‌شود (شریف‌آبادی و زعیان، 2023). در کشورهای صنعتی، ارتقای استانداردهای زندگی و شکل‌گیری الگوهای مصرف‌گرا منجر به تولید حجم بی‌سابقه‌ای از کالاها و خدمات شده و به افزایش کمی و کیفی پسماند دامن زده است (سالهوفر[2] و همکاران، 2008). روند رو به افزایش تولید پسماند حتی پس از بحران‌های اقتصادی و سیاسی از سال 2014 ادامه داشته است، که نشان می‌دهد تولید پسماند نسبتاً کمتر تحت تأثیر نوسانات کوتاه‌مدت قرار می‌گیرد . از منظر زیست‌محیطی، پسماندهای جامد شهری سهم قابل توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند؛ برآوردها نشان می‌دهند که حدود 25 درصد متان ناشی از فعالیت‌های انسانی از دفع نادرست این پسماندها در محل‌های دفن ناشی می‌شود (شیائو و همکاران، 2022). این مسئله همراه با افزایش 60 درصدی مصرف منابع جهانی طی دو دهه گذشته، خطرات جدی برای اکوسیستم‌ها، کیفیت آب و خاک و سلامت انسان به همراه دارد (شریف‌آبادی و زعیان، 2023).

در گذشته، مدیریت پسماندهای جامد شهری عمدتاً مبتنی بر رویکردهای متمرکز و دستوری بود؛ با این حال، این چارچوب‌ها به‌تدریج به سوی مدل‌های مشارکتی و غیرمتمرکز حرکت کرده‌اند که نقش جوامع محلی و مشارکت بخش خصوصی در آن پررنگ‌تر است (هربک[3] و همکاران، 2020). در این مدل‌ها، آگاهی عمومی و انگیزه‌های رفتاری، مانند کمپین‌های تبلیغاتی و برنامه‌های بازیافت در سطح خانوار، ابزارهای کلیدی برای شکل‌دهی به تصمیمات مرتبط با پسماند محسوب می‌شوند (برینتون[4] و همکاران، 2023). کشورهای صنعتی همچنان با تولید سرانه بالای پسماند مواجه هستند، در حالی که کشورهای در حال توسعه با فشار مضاعف رشد جمعیت و محدودیت زیرساخت‌ها روبه‌رو هستند. این وضعیت موجب شده تولید پسماندهای شهری به یک چالش چندبعدی و پویا تبدیل شود (روی[5] و همکاران، 2021؛ ایبارا و باوتیستا–رودریگز[6]، 2024). شهرهایی مانند بوشهر که تجربه شهرنشینی سریع دارند، فشار فزاینده‌ای بر سیستم‌های جمع‌آوری و دفع پسماند موجود را تجربه می‌کنند.

مفهوم اقتصاد چرخشی به عنوان یک راهبرد حیاتی برای مقابله با چالش‌های مدیریت پسماندهای جامد شهری مطرح شده است. اصول اقتصاد چرخشی شامل کاهش تولید پسماند در مبدا، افزایش چرخه عمر محصول و بازیابی مواد از طریق استفاده مجدد و بازیافت است (نگوین[7] و همکاران، 2024؛ گومونوف[8] و همکاران، 2021). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که ادغام استراتژی‌های اقتصاد چرخشی در سیستم‌های مدیریت پسماند شهری می‌تواند وابستگی به دفن پسماند را کاهش داده و ارزش اقتصادی از طریق بازیابی منابع ایجاد کند (پیزارو–آلونزو[9] و همکاران، 2018؛ شارما[10] و همکاران، 2020). به عنوان نمونه، وارگاس ترانووا[11] و همکاران (2022) نشان دادند که به‌کارگیری مدل‌های اقتصاد چرخشی در برنامه‌ریزی مدیریت پسماند، جریان‌های بازیافت را

[1] Xiao
[2] Salhofer
[3] Hrabec
[4] Brinton
[5] Roy
[6] Ibarra & Bautista-Rodriguez
[7] Nguyen
[8] Gomonov
[9] Pizarro-Alonso
[10] Sharma
[11] Vargas-Terranova

بهینه کرده و هزینه‌های کلی سیستم را کاهش می‌دهد. این شواهد تأکید می‌کنند که سیاست‌های مبتنی بر اقتصاد چرخشی برای تحقق توسعه اقتصادی پایدار و حفاظت از محیط زیست حیاتی هستند (ایبارا و باوتیستا–رودریگز، 2024).

علاوه بر ابعاد فنی و زیرساختی، نتایج مدیریت پسماند شهری به شدت تحت تأثیر عوامل رفتاری و نهادی قرار دارند (شیائو و همکاران، 2020؛ ایبارا و باوتیستا–رودریگز، 2024). مشارکت خانوارها در تفکیک پسماند از مبدا با دسترسی به امکانات، اعتماد به نهادهای محلی و اثربخشی کمپین‌های تبلیغاتی شکل می‌گیرد (لی[12] و همکاران، 2019). در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، بخش‌های غیررسمی نقش محوری در جمع‌آوری پسماند ایفا می‌کنند و اغلب در انعطاف‌پذیری و پوشش عملکرد بهتری نسبت به سیستم‌های رسمی دارند، اگرچه ادغام آنها در چارچوب اقتصاد چرخشی هنوز یک چالش محسوب می‌شود (شی[13] و همکاران، 2020).

با توجه به پیچیدگی‌های مذکور، پویایی‌شناسی سیستم به عنوان یک رویکرد مناسب برای تحلیل بازخوردها، تأخیرها و رفتار غیرخطی سیستم‌های پسماند شهری شناخته شده است (پینه و ساگاوا[14]، 2020؛ شیائو و همکاران، 2020). پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که این رویکرد برای ارزیابی اثرات بلندمدت سیاست‌ها و ادغام با اقتصاد چرخشی کاربردی است (شریف‌آبادی و ضیائیان، 2023). عطف به مطالب فوق، هدف اصلی این مطالعه؛ تحلیل نقش تبلیغات و سرمایه‌گذاری مجدد درآمدهای حاصل از بازیافت در بهبود عملکرد مدیریت پسماند خانگی در شهر بوشهر، در چارچوب اقتصاد چرخشی و با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم است. این مطالعه از حیث بررسی همزمان نقش اقدامات تبلیغاتی و سرمایه‌گذاری مجدد درآمدهای بازیافت در قالب سیاست‌های اقتصاد چرخشی با تاکید بر روابط علت و معلولی دارای نوآوری است.

پیشینه پژوهشی

در این بخش مبانی نظری و پیشینه تجربی پژوهش آورده شده است:

مدیریت پایدار پسماند

تولید سالانه پسماند جامد در سراسر جهان حدود ۳/۲ میلیارد تن برآورد شده است که تقریباً ۴۷ درصد آن دفن و ۲۲ درصد سوزانده می‌شود (یانگ[15] و همکاران، ۲۰۲۱). طی ۳۰ سال گذشته، تولید پسماند جامد شهری سالانه ۱.۵ تا ۲ درصد افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ تقریباً دو برابر شود (هرابک[16] و همکاران، ۲۰۲۰). پسماند جامد شهری از منابع مسکونی (۶۰ تا۷۰ درصد)، تجاری (۲۰ تا۳۰ درصد) و ساختمانی (۵ تا۱۰ درصد) تشکیل شده و شامل مواد متنوعی مانند پلاستیک، کاغذ و پسماندهای خطرناک است که مدیریت آن بر عهده مقامات شهرداری قرار دارد. در کشورهای در حال توسعه، بخش عمده پسماند شامل مواد آلی (۵۰ تا۶۰ درصد)، پلاستیک (۱۰ تا ۱۵درصد) و کاغذ (۵ تا۱۰ درصد) است، در حالی که در کشورهای توسعه‌یافته به دلیل سیستم‌های تفکیک پیشرفته، سهم مواد قابل بازیافت بیشتر است (شی و همکاران، ۲۰۲۰).

مدیریت پسماندهای جامد شهری، به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی زیست‌محیطی قرن بیست و یکم، فرآیندی پیچیده است که مراحل تولید، جمع‌آوری، حمل‌ونقل، بازیافت و دفع پسماندهای ناشی از فعالیت‌های مسکونی، تجاری و ساختمانی را شامل

[12] Lee
[13] Shi
[14] Pinha & Sagawa
[15] Yang
[16] Hrabec

می‌شود (شریف‌آبادی و ضیائیان، ۲۰۲۳). این فرآیند نه تنها بر سلامت عمومی و محیط زیست تأثیر مستقیم دارد، بلکه با برخی از اهداف توسعه پایدار سازمان ملل، از جمله دسترسی به آب پاک، شهرهای پایدار و اقدامات مرتبط با تغییر اقلیم، ارتباط مستقیم برقرار می‌کند (شی و همکاران، ۲۰۲۰). افزایش جمعیت و شهرنشینی شتابان به ویژه در کشورهای در حال توسعه، فشار بر سیستم‌های مدیریت پسماند را افزایش داده و چالش‌های آن را پیچیده‌تر کرده است.

یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت پسماند، دفع نامناسب آن است که می‌تواند موجب ورود آلاینده‌ها به منابع آب زیرزمینی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بروز مشکلات بهداشتی شود. سوزاندن غیراصولی پسماندهای پلاستیکی و الکترونیکی نیز گازهای خطرناک تولید کرده و پیامدهای جدی برای سلامت انسان دارد (لی و همکاران، ۲۰۱۹). در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، جداسازی پسماند در مبدا هنوز محدود است و بخش قابل‌توجهی از پسماندها در محل‌های دفن غیراستاندارد تخلیه می‌شوند (هرابک و همکاران، ۲۰۲۰). شیرابه حاصل از این محل‌ها می‌تواند آب‌های زیرزمینی را آلوده کرده و کیفیت آب را کاهش دهد (روی و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین تجمع پسماند در آبراه‌ها جریان آب را مسدود و خطر سیل را افزایش می‌دهد (شریف‌آبادی و ضیائیان، ۲۰۲۳).

سلسله‌مراتب مدیریت پسماند، بر کاهش تولید در مبدا، استفاده مجدد، بازیافت و کمپوست اولویت دارد و تنها در مرحله نهایی، دفع ایمن را مجاز می‌داند. تبدیل پسماندهای آلی به کمپوست و استفاده از فناوری‌های بازیابی انرژی می‌تواند انتشار آلاینده‌ها را کاهش دهد (شارما و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، بهینه‌سازی زنجیره تأمین از طریق هوش مصنوعی و حمل‌ونقل ترکیبی، هزینه‌ها و انتشار کربن را کاهش می‌دهد (هرابک و همکاران، ۲۰۲۰). اقتصاد چرخشی نیز با تبدیل پسماند به منابع و ایجاد فرصت‌های شغلی، رویکردی مؤثر برای توسعه پایدار ارائه می‌دهد.

اقتصاد چرخشی و تبلیغات در مدیریت پسماند

روش‌های سنتی مدیریت پسماند شهری ظرفیت کافی برای تحقق مدیریت پایدار را ندارند و نیازمند تغییر به رویکردهای چرخشی و احیاکننده هستند. اقتصاد چرخشی با ترویج استفاده مجدد، بازیافت و طراحی هوشمند، هدف کاهش یا حذف پسماند را دنبال می‌کند (تافوری و همکاران، ۲۰۲۱). یکی از تفاوت‌های اساسی بین مدل‌های خطی و چرخشی این است که برخلاف مدل خطی تولید–مصرف–دفع، اقتصاد چرخشی منابع را در چرخه مصرف نگه می‌دارد (گومونوف و همکاران، ۲۰۲۱). در این رویکرد، پسماند به منبعی برای تولید مواد جدید تبدیل می‌شود؛ برای مثال بازیافت پلاستیک‌های دریایی می‌تواند هم آلودگی اقیانوس‌ها را کاهش دهد و هم نیاز به پلاستیک بکر را کم کند (شی و همکاران، ۲۰۱۷). بر اساس گزارشEPI ، اجرای استراتژی‌های اقتصاد چرخشی می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ میزان انتشار گاز دی اکسید کربن را تا ۸۳ درصد کاهش دهد (تابار[17] و همکاران، ۲۰۲۴). با وجود مزایای اقتصاد چرخشی، مدیریت پسماند شهری همچنان با چالش‌های جدی مواجه است. دفن پسماند موجب اشغال زمین و آلودگی خاک و آب زیرزمینی می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۲۱) و سوزاندن پسماندهای پلاستیکی و الکترونیکی، دیوکسین‌های سرطان‌زا آزاد می‌کند (شی و همکاران، ۲۰۱۷). بخش قابل توجهی از پسماندهای دفنی یا سوزاندنی، مانند کاغذ و بسته‌بندی‌های پلاستیکی، قابل بازیافت هستند و می‌توانند به عنوان منابع ثانویه مورد استفاده قرار گیرند (یانگ و همکاران، ۲۰۲۱). با وجود پیشرفت‌های فناوری، بسیاری از کشورها هنوز به دفع مرسوم متکی‌اند؛ نرخ بازیافت بسته‌بندی پلاستیکی تقریباً صفر و کمتر از ۴۰ درصد بسته‌بندی کاغذی بازیافت می‌شود (شی و همکاران، ۲۰۲۳) که منجر به آلودگی‌های شدید، از جمله ورود پلاستیک به زنجیره غذایی آبزیان می‌گردد (شی و همکاران، ۲۰۱۷). برای مقابله با این مشکلات، اتخاذ استراتژی‌های جامع شامل پیشگیری از تولید پسماند، افزایش ارزش مواد و ترویج مصرف مسئولانه ضروری است (شارما[18] و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین مشارکت تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، شرکت‌های تحویل و دولت‌ها اهمیت دارد؛ برای مثال، شرکت‌های تحویل می‌توانند با طراحی بسته‌بندی‌های

[17] Tabar
[18] Sharma

قابل بازیافت و ارائه مشوق‌های مالی، نرخ بازیافت را افزایش دهند. اقتصاد چرخشی می‌تواند با کاهش دفن پسماند و محدود کردن انتشار متان تا حدود ۵۰ درصد، به کاهش آلودگی کمک کند و امکان بازیافت تا ۷۰ درصد بسته‌بندی پلاستیکی را تا سال ۲۰۳۰ فراهم نماید (شی و همکاران، ۲۰۲۳). از منظر اقتصادی، این مدل می‌تواند سالانه حدود ۱ تریلیون دلار درآمد ایجاد کرده (گومونوف[19] و همکاران، ۲۰۲۱) و با بهبود بهره‌وری منابع، تولید ناخالص داخلی جهانی را تا ۷ درصد افزایش دهد (برینتون[20] و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین فرصت‌های اشتغال سبز در حوزه‌هایی مانند بازیافت، تعمیر و انرژی‌های تجدیدپذیر ایجاد می‌کند. استفاده مجدد از پسماندها به عنوان مواد اولیه، مانند بهره‌گیری از ضایعات ساختمانی در تولید بتن، به حفظ منابع طبیعی کمک می‌کند (زارع و همکاران، ۲۰۲۳). اقتصاد چرخشی بر سه اصل اساسی؛ حذف پسماند و آلودگی با طراحی محصولاتی قابل تعمیر، ارتقا یا بازیابی، حفظ مواد در چرخه مصرف با افزایش طول عمر از طریق استفاده مجدد و بازیافت، و بازسازی سیستم‌های طبیعی با اتکا بر منابع تجدیدپذیر بنا شده است (گومونوف و همکاران، ۲۰۲۱).

مرور تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که ناکارآمدی سیستم‌های سنتی مدیریت پسماند و پیامدهای زیست‌محیطی دفن پسماند، توجه پژوهشگران را به رویکردهای نوین و به‌ویژه اقتصاد چرخشی معطوف کرده است. با این حال، بخش عمده این مطالعات بر کشورهای توسعه‌یافته تمرکز داشته و بررسی‌ها در کشورهای در حال توسعه همچنان محدود است. یکی از فناوری‌های مورد توجه، تصفیه مکانیکی–بیولوژیکی است که با ترکیب جداسازی مکانیکی و فرآیندهای بیولوژیکی، منجر به کاهش حجم پسماند و تولید کمپوست می‌شود؛ به‌گونه‌ای که در ایتالیا توانسته است تا ۵۰ درصد از پسماندهای دفن‌شده را کاهش دهد. همچنین، تولید سوخت از پسماندهای غیرقابل بازیافت به‌عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی مطرح شده است (وگا و رودیگرز[21]، ۲۰۲۱). با وجود این، مدیریت پسماند با چالش‌هایی نظیر مقاومت شهروندان، ضعف در تفکیک از مبدأ در کشورهای در حال توسعه و وابستگی به دفن پسماند مواجه است که نیازمند آموزش عمومی، توسعه زیرساخت‌های بازیافت و اعمال قوانین و مجازات‌های بازدارنده است (شریف‌آبادی و ضیائیان، ۲۰۲۳؛ شی و همکاران، ۲۰۲۰).

یکی از چالش‌های اساسی در این حوزه، سطح پایین آگاهی عمومی نسبت به پیامدهای دفع نامناسب پسماند است. پسماندهای خطرناک، به‌ویژه پسماندهای الکترونیکی، به دلیل ضعف قوانین و کمبود امکانات، اغلب با پسماندهای خانگی مخلوط می‌شوند. این در حالی است که بسیاری از شهروندان از خطرات مواد سمی مانند سرب و جیوه موجود در این پسماندها آگاهی کافی ندارند (الملهیم، ۲۰۲۲). مشارکت شهروندان به‌عنوان یکی از ارکان اصلی مدیریت پایدار پسماند، نقش واسط میان سیاست‌گذاران و جامعه را ایفا کرده و از اقداماتی نظیر تفکیک و بازیافت پسماند حمایت می‌کند. مطالعات نشان می‌دهد که در کشورهای توسعه‌یافته، آموزش و افزایش آگاهی عمومی می‌تواند موفقیت برنامه‌های مدیریت پسماند را تا ۴۰ درصد افزایش دهد (شی و همکاران، ۲۰۱۷). افزون بر این، سرمایه اجتماعی، از جمله انجمن‌های محلی زیست‌محیطی، نقش مؤثری در کاهش فعالیت‌های غیرقانونی مانند رهاسازی پسماند در طبیعت دارد (شومپلاک و همکاران، ۲۰۱۹).

تبلیغات نیز به‌عنوان ابزاری مؤثر در تغییر نگرش و رفتار شهروندان، نقش مهمی در ارتقای مدیریت پسماند ایفا می‌کند. تبلیغات مناسب می‌تواند افراد و سازمان‌ها را به مشارکت در برنامه‌های بازیافت تشویق کرده و رفتار مصرف‌کننده را به سمت انتخاب‌های سازگار با محیط‌زیست هدایت کند. برندهای بین‌المللی نظیر پرادا و گوچی با استفاده از مواد بازیافتی، مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی خود را نشان داده و مصرف پایدار را ترویج می‌کنند (شیخ الاسلامی و همکاران، ۲۰۰۷). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تبلیغات متمرکز بر پایداری می‌تواند مشارکت شرکت‌ها در برنامه‌های بازیافت را تا ۳۰ درصد افزایش دهد (شی و همکاران، ۲۰۲۳). در

[19] Gomonov
[20] Brinton
[21] Vega & Rodriguez

مقابل، در کشورهای در حال توسعه، سطح پایین آگاهی عمومی موجب شده است که کمتر از ۲۰ درصد خانوارها در برنامه‌های رسمی بازیافت مشارکت داشته باشند (راشدی و همکاران، ۲۰۲۴). با این حال، تبلیغات هدفمند و ارائه مشوق‌های اقتصادی، مانند تجربه چین، توانسته است نرخ بازگشت پسماندهای الکترونیکی را تا ۵۰ درصد افزایش دهد (هاتم[۲۲] و همکاران، ۲۰۲۲).

مطالعات متعدد بر نقش تبلیغات هدفمند در فرهنگ‌سازی و ارتقای مدیریت پسماند تأکید دارند. نتایج نشان می‌دهد که زمان‌بندی مناسب و کیفیت محتوای پیام‌های تبلیغاتی می‌تواند مشارکت شهروندان را افزایش داده و به بهبود فرآیند بازیافت و تقویت فرهنگ زیست‌محیطی منجر شود (زارع و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، تبلیغات سبز قادر است ترجیحات مصرف‌کنندگان را به سمت محصولات پایدار و قابل بازیافت هدایت کند (عبداللهی‌پور و بابردل، ۲۰۲۵). این یافته‌ها اهمیت سرمایه‌گذاری در کمپین‌های تبلیغاتی سبز را در چارچوب یک رهیافت پویایی سیستم برای مدیریت پایدار پسماند، به‌ویژه در شهر بوشهر، برجسته می‌سازد.

نگرش و آگاهی مصرف‌کنندگان نقش تعیین‌کننده‌ای در قصد مشارکت شهروندان در جمع‌آوری پسماندهای الکترونیکی دارد. عواملی نظیر شرایط محیطی، هنجارهای ذهنی، محرک‌های اقتصادی، زیرساخت‌ها و تبلیغات، به‌ویژه در صورت سرمایه‌گذاری هدفمند، تأثیر قابل‌توجهی بر انگیزه مشارکت دارند. نتایج نشان می‌دهد که تبلیغات و مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی از طریق عوامل محیطی، قصد مشارکت را تقویت کرده و دسترسی به زیرساخت‌های جمع‌آوری پسماند، اثر نگرش و هنجار ذهنی را بر مشارکت افزایش می‌دهد (حاتم و همکاران، ۲۰۲۲).

در نهایت، توسعه کارآفرینی سبز در حوزه مدیریت پسماند شهری می‌تواند پسماند را به فرصتی اقتصادی و اجتماعی تبدیل کند. عوامل فردی، نهادی، زیرساختی، فناورانه و اقتصادی در شکل‌گیری این نوع کارآفرینی مؤثرند و با راهبردهای حمایتی و آموزشی، پیامدهای مثبت اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه دارند (آموسی[۲۳] و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین، تبلیغات محیط‌زیستی با بهبود کیفیت محیط زیستی درک‌شده و ایجاد مزایای روان‌شناختی سبز، مشارکت شهروندان در فعالیت‌های زیست‌محیطی از جمله بازیافت پسماند را تقویت می‌کند (راشدی و همکاران، ۲۰۲۴؛ کاظمی و مظفری، ۲۰۱۹؛ ابراهیم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین، سرمایه‌گذاری هدفمند در تبلیغات محیط‌زیستی و توسعه زیرساخت‌های مرتبط، نقش کلیدی در ارتقای مدیریت پایدار پسماند شهری ایفا می‌کند.

کاربرد مدل پویایی سیستم در مدیریت پسماند

مدیریت پسماند شامل مجموعه‌ای از فرآیندهای پیچیده، پیوسته و متقابل نظیر تولید، جمع‌آوری، بازیافت و دفع است که ماهیتی پویا و زمان‌مند دارند و بررسی آن‌ها مستلزم بهره‌گیری از ابزارهای تحلیلی زمان‌محور است. در این میان، مدل‌سازی پویایی سیستم‌ها امکان شناسایی و مدل‌سازی روابط علّی میان متغیرهای کلیدی و ارزیابی پیامدهای بلندمدت سیاست‌ها را فراهم می‌سازد و از این‌رو، رویکردی مناسب برای طراحی و ارزیابی راهبردهای پایدار مدیریت پسماند به شمار می‌رود (پینه و ساگاوا، 2020). استفاده از پویایی سیستم‌ها به‌ویژه در تحلیل تعاملات پیچیده میان ذی‌نفعان مختلف، از جمله خانوارها، نهادهای مدیریتی و بخش خصوصی، کارآمد است. به‌عنوان نمونه، اجرای سیاست‌های تشویقی در حوزه بازیافت می‌تواند منجر به افزایش مشارکت خانوارها و در نتیجه کاهش هزینه‌های مدیریت پسماند شهری شود (لی و همکاران، 2019).

[22] Hatem
[23] Amoosi

با توجه به پیچیدگی ذاتی سیستم‌های مدیریت پسماند، رویکردهای ترکیبی که پویایی سیستم‌ها را با ابزارهای هوش مصنوعی و یادگیری ماشین تلفیق می‌کنند، توانایی ارائه تصویری جامع‌تر از برهم‌کنش میان جمعیت، فناوری و مقررات را دارند و به سیاست‌گذاران در اتخاذ تصمیم‌های مبتنی بر داده و شواهد تجربی کمک می‌کنند (شیائو و همکاران، 2020). شواهد حاصل از مطالعات موردی متعدد نشان می‌دهد که عوامل اجتماعی–اقتصادی و سطح دسترسی به زیرساخت‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد سیستم‌های بازیافت ایفا می‌کنند (شریف‌آبادی و ضیائیان، 2023). همچنین، نتایج پژوهش‌ها حاکی از آن است که اجرای کمپین‌های آگاه‌سازی عمومی همراه با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های مرتبط، تأثیر قابل‌توجهی در کاهش تولید پسماند و بهبود کارایی مدیریت پسماند شهری دارد (برینتون و همکاران، 2023).

با وجود جامعیت این مطالعات در پوشش ابعاد عملیاتی، اقتصادی و رفتاری مدیریت پسماند جامد شهری، اغلب آن‌ها بر شهرهایی با زیرساخت‌های پیشرفته یا زمینه‌هایی تمرکز دارند که در آن‌ها بخش رسمی نقش غالبی در فرآیند بازیافت ایفا می‌کند. از این‌رو، برای ارائه درکی روشن‌تر از ادبیات تجربی موجود، جدول1 خلاصه‌ای از مطالعات کلیدی مرتبط با جنبه‌های مختلف مدیریت پسماند جامد شهری را ارائه می‌دهد و موضوعات پژوهشی، روش‌های به‌کاررفته و مهم‌ترین یافته‌های هر مطالعه را به‌صورت نظام‌مند تشریح می‌کند.

جدول 1. مطالعات کلیدی مرتبط با پژوهش

موضوع	مقالات مرتبط	روش‌شناسی	یافته‌ها
پیش‌بینی تولید پسماند شهری با استفاده از مدل پویایی‌شناسی سیستم(SD)	رومانو و همکاران (2022)؛ شریف‌آبادی و ضیائیان (۲۰۲۳)	مدل‌سازی پویای سیستم	سبک زندگی و مصرف بر تولید پسماند تأثیر دارد؛ سیاست‌های محدودیت پلاستیک و بازیافت می‌تواند روند تولید را کاهش دهد.
تأثیر اقتصاد چرخشی (بازیافت) بر مدیریت پسماند شهری	وگا و رودریگز (2021)؛ شیائو و همکاران (۲۰۲۳)	تحلیل سیستمی	اقتصاد چرخشی مصرف مواد و بار مراکز دفن را کاهش می‌دهد و نرخ بازیافت و اشتغال سبز را افزایش می‌دهد.
راهکارهای عملیاتی برای مدیریت پسماند شهری	کالا و همکاران (۲۰۲۲)	پیمایشی	آگاهی و انگیزش اجتماعی مشارکت شهروندان را افزایش می‌دهد؛ زیرساخت و همکاری نهادها حیاتی است.
نقش تبلیغات در کاهش تولید پسماند و افزایش نرخ بازیافت	چنگ و همکاران (2023)؛ یانگ و همکاران (۲۰۲۱)	شبیه‌سازی و نظریه بازی	تبلیغات هدفمند و مشوق‌های اقتصادی مشارکت در بازیافت را بهبود می‌بخشد.
کاربرد مدل سیستم پویا در مدیریت پسماند شهری	چاوز و همکاران(2021)؛ تافوری و همکاران (۲۰۲۱)	مدل‌سازی سیستم پویا و تحلیل ذی‌نفعان	سیستم‌های محلی و غیرمتمرکز کارایی را افزایش و گلوگاه‌ها را آشکار می‌کنند.

استان بوشهر در جنوب ایران و در امتداد سواحل خلیج فارس واقع شده و به‌واسطه موقعیت جغرافیایی خاص خود، نقش مهمی در معادلات اقتصادی، انرژی و محیط‌زیستی کشور ایفا می‌کند. تمرکز صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، فعالیت‌های بندری و تجاری، و همچنین حساسیت بالای اکوسیستم‌های ساحلی، این استان را به یکی از مناطق استراتژیک ایران تبدیل کرده است. در این میان، شهر بوشهر به‌عنوان مرکز استان، به دلیل رشد جمعیت، توسعه کالبدی و افزایش فعالیت‌های اقتصادی، با چالش‌های فزاینده‌ای در حوزه مدیریت پسماند شهری مواجه شده است.

بر اساس گزارش‌های رسمی شهرداری بوشهر، میزان تولید پسماند شهری در این شهر به‌طور متوسط حدود 170 تن در روز برآورد شده است که این حجم قابل‌توجه پسماند، روزانه طی سه شیفت کاری توسط ناوگان ویژه جمع‌آوری می‌شود(شیخ الاسلامی و همکاران ۱۳۸۶). عملیات جمع‌آوری پسماند در سه منطقه شهری سازمان‌دهی شده و عمدتاً در ساعات شبانه، به‌جز روزهای پنجشنبه و جمعه، انجام می‌گیرد. با این حال، ساختار کالبدی ناهمگون شهر موجب شده است که الگوی جمع‌آوری در همه مناطق یکسان نباشد. به‌طور خاص، در بخش‌هایی از منطقه 1 که دارای بافت تاریخی، معابر باریک و دسترسی محدود برای خودروهای مکانیزه است، جمع‌آوری پسماند به‌صورت دستی و در شیفت روزانه بین ساعات 5:00 تا 13:00 انجام می‌شود. در مقابل، در

سایر بخش‌های منطقه 1 و نیز در مناطق 2 و 3، جمع‌آوری پسماند به‌صورت مکانیزه و از ساعت 21 شب آغاز می‌شود. افزون بر این، خیابان‌های اصلی و معابر مرکزی شهر به‌منظور حفظ بهداشت عمومی و منظر شهری، در سه نوبت صبح، ظهر و شب مورد پاک‌سازی قرار می‌گیرند. این تفاوت در شیوه و زمان‌بندی جمع‌آوری نشان‌دهنده تأثیر مستقیم ویژگی‌های کالبدی و زیرساختی شهر بر کارایی سیستم مدیریت پسماند است.

مطابق داده‌های ارائه‌شده، ترکیب پسماند شهری بوشهر به‌طور غالب از پسماندهای آلی و غذایی تشکیل شده است، به‌گونه‌ای که بیش از 70 درصد کل پسماند تولیدی را این بخش شامل می‌شود. این سهم بالا بیانگر وجود پتانسیل قابل‌توجه برای بازیافت زیستی، تولید کمپوست و حتی بازیابی انرژی است. با این حال، در وضعیت فعلی، بخش عمده این پسماندهای غذایی بدون هیچ‌گونه تفکیک یا فرآوری، به چرخه دفع نهایی منتقل می‌شوند و عملاً ظرفیت بالقوه آنها برای کاهش حجم دفن و بهبود پایداری زیست‌محیطی بلااستفاده باقی مانده است. شهر بوشهر به‌خصوص در مدیریت پسماندهای غذایی با تأخیر و کاستی‌های ساختاری و اجرایی مواجه است. این خلأ نه‌تنها از منظر مدیریتی و زیست‌محیطی حائز اهمیت است، بلکه از دیدگاه پژوهشی نیز قابل توجه بوده و تاکنون در بخش قابل‌توجهی از مطالعات مرتبط با مدیریت پسماند شهری مورد توجه کافی قرار نگرفته است.

جدول ۲. تفکیک اجزای پسماند در شهر بوشهر(شیخ الا سلامی و همکاران، ۱۳۸۶)

ردیف	نوع پسماند	تولید روزانه (تن)	بازیافت روزانه (تن)
۱	پسماند غذایی	۶۶/۲	۰
۲	کارتن و مقوا	۵/۴	۱/۷۸
۳	کاغذ و روزنامه	۱/۴۸	۰/۲۹
۴	پلاستیک	۴/۵	۰/۱۳
۵	بطری	۱/۱۴	۰/۱۶
۶	شیشه	۲/۶۱	۰/۶۲
۷	نایلون	۲/۷	۰/۸۱
۸	نان خشک	۲/۲	۰/۴۸
۹	فلزات آهنی	۱/۰۵	۰/۵۳
۱۰	فلزات غیرآهنی	۳/۱۵	۰/۶۳

روش‌شناسی

در این پژوهش کاربردی، از روش‌های تحقیق توصیفی-تحلیلی در مورد مدیریت پسماند جامد شهری در بوشهر استفاده شد. جامعه آماری این پژوهش شامل کارشناسان شهرداری بوشهر است. اعضای نمونه تحقیق با روش غیرتصادفی هدفمند انتخاب گردیدند. در مجموع ۱۵ متخصص، شامل مهندسان محیط زیست، برنامه‌ریزان شهری و مسئولان ارشد مدیریت پسماند براساس معیارهای تسلط نظری و تجربه عملی(حداقل پنج سال سابقه در مدیریت پسماند جامد شهری در بوشهر) انتخاب شدند. جمع‌آوری داده از طریق مصاحبه حضوری انجام گرفته است.

در این مطالعه، برای تکمیل چارچوب تحلیلی، از منابع ثانویه نظیر سالنامه‌های آماری ملی، گزارش‌های عملکرد زیست‌محیطی و اسناد سیاستی مرتبط استفاده شد. روش کتابخانه‌ای به‌منظور شناسایی متغیرهای کلیدی، روابط نظری و ساختار مفهومی سیستم، و روش میدانی برای اخذ دیدگاه‌ها و قضاوت‌های خبرگان حوزه مدیریت پسماند شهری به منظور تایید متغیرهای شناسایی شده و نیز تعیین قطبیت روابط بین آن‌ها برپایه حداکثر توافق استفاده شده است. برای تحلیل مسئله، از رویکرد سیستم‌های پویا با تمرکز بر حلقه‌های علّی استفاده شد. در این چارچوب، مراحل تحقیق شامل تعریف دقیق مسئله، شناسایی متغیرهای اثرگذار از طریق پیشینه تجربی و تایید آن‌ها برپایی نظرات خبرگان، تدوین فرضیه‌های پویا و ترسیم روابط علّی میان متغیرها در قالب حلقه‌های بازخورد تقویتی و تعدیلی است. در این مرحله روابط مابین متغیرها از طریق پیشینه تجربی و نیز نظرخواهی از خبرگان صورت

گرفته است. تمرکز اصلی در این بخش بر تبیین ساختار علّی سیستم و شناسایی مکانیسم‌های بازخوردی حاکم بر مدیریت پسماند شهری بوده است. نرم‌افزار ونسیم به‌عنوان ابزار اصلی مدل‌سازی انتخاب شد، زیرا این نرم‌افزار امکان ترسیم شفاف و ساخت‌یافته نمودارهای علّی–حلقه‌ای، تحلیل روابط بازخوردی و بررسی پیامدهای سیاستی در سطح مفهومی را فراهم می‌کند. در این مطالعه اعتبارسنجی اولیه و منطقی بودن روابط در مدل براساس نظرات خبرگان و تایید آن‌ها و نیز روایی محتوا انجام گرفته است. استفاده از نمودارهای علّی–حلقه‌ای در این مطالعه، بستری مناسب برای درک پویایی‌های پیچیده مدیریت پسماند شهری بوشهر و شناسایی نقاط اهرمی مؤثر برای مداخلات سیاستی فراهم کرده است. در این پژوهش، با انجام یک مرور نظام‌مند بر مقالات مرتبط با حوزه مدیریت پسماند جامد شهری و اقتصاد چرخشی، متغیرهای مؤثر شناسایی و استخراج شدند. این متغیرها شامل عوامل فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی و تکنولوژیکی هستند که می‌توانند بر عملکرد مدیریت پسماند و تحقق اقتصاد چرخشی تأثیرگذار باشند. جدول3 فهرست کامل این متغیرها را ارائه می‌کند که مبنای مدل‌سازی و تحلیل در این مطالعه قرار گرفته‌اند.

جدول 2. متغیرهای مرتبط با پژوهش

دسته	متغیرها
متغیرهای اقتصادی	تولید ناخالص داخلی، تولید ناخالص داخلی سرانه، سهم تولید ناخالص داخلی بوشهر، قیمت مواد خام جدید، قیمت بازیافت به ازای هر تن، سود خالص بازیافت، هزینه کل ، سود خالص کل
متغیرهای سرمایه‌گذاری و هزینه‌ها	سرمایه‌گذاری اضافی، سرمایه‌گذاری ثابت، سرمایه‌گذاری متغیر، نرخ سرمایه‌گذاری، میانگین هزینه ساخت هر تن، میانگین هزینه دفع هر تن، هزینه دفع، هزینه بازیافت هر تن، هزینه نخاله های ساختمانی
متغیرهای جمعیتی	نرخ تولد، ضریب نرخ تولد، نرخ مرگ‌ومیر، جمعیت، نرخ مهاجرت خالص، سیاست‌های مهاجرتی، طول عمر
متغیرهای رسانه‌ای و تبلیغاتی	اثرگذاری تبلیغات، بازیافت از طریق تبلیغات، تأثیر اخبار اینترنتی، تأثیر شبکه‌های اجتماعی، تأثیر تلویزیون محلی، تأثیر تلویزیون ملی، تأثیر تلویزیون، تأثیر تبلیغات محیطی، تأثیر رادیو
متغیرهای مربوط به پسماند و بازیافت	تولید سرانه پسماند ناشی از تولید ناخالص داخلی سرانه، نرخ بازیافت‌نشده، حجم بازیافت‌نشده، نرخ استفاده مجدد، خروجی برای بازیافت، نرخ جمع‌آوری برای بازیافت، نرخ دفع
متغیرهای حجمی و جریان مواد	حجم جمع‌آوری‌شده، حجم دفع، حجم بازیافت
متغیرهای مدیریتی و اجرایی	جمع‌آوری عمومی
متغیرهای ساخت‌وساز و پسماند ساختمانی	پسماند ساختمانی، نرخ تولید پسماند ساختمانی، سهم پسماند ساختمانی

بیان مسئله

این مطالعه به بررسی چالش‌های مدیریت پسماند خانگی در شهر بوشهر می‌پردازد. رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه فعالیت‌های صنعتی موجب افزایش تولید پسماند شده و فشار قابل‌توجهی بر سیستم مدیریت پسماند شهری وارد کرده است. با وجود انجام سرمایه‌گذاری‌های مختلف در این حوزه، نرخ پایین بازیافت و هزینه‌های بالای مدیریت پسماند همچنان به‌عنوان مشکلات اساسی باقی مانده‌اند. هدف اصلی این پژوهش، طراحی و توسعه یک مدل پویایی سیستم به‌منظور شبیه‌سازی تعامل میان عوامل جمعیتی، اقتصادی، زیست‌محیطی و مدیریتی مؤثر بر مدیریت پسماند خانگی است. این مدل با بررسی روابط علّی میان متغیرها، امکان تحلیل اثرگذاری سیاست‌های مبتنی بر اقتصاد چرخشی را در قالب سناریوهای مختلف فراهم می‌سازد و می‌تواند به‌عنوان ابزاری حمایتی برای تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری در مدیریت پایدار پسماند شهری مورد استفاده قرار گیرد.

فرضیه پویای پژوهش

فرضیه اصلی این پژوهش بر این مبنا استوار است که سودآوری بازیافت، مداخلات سیاستی و سطح آگاهی عمومی از طریق سازوکارهای بازخوردی پویا، به‌طور متقابل یکدیگر را تقویت می‌کنند. به‌طور مشخص، افزایش نرخ بازیافت منجر به کسب منافع اقتصادی بیشتر در سیستم مدیریت پسماند می‌شود. بخشی از این منافع می‌تواند مجدداً در توسعه زیرساخت‌های مدیریت پسماند و اجرای کمپین‌های آگاهی‌رسانی و تبلیغاتی عمومی سرمایه‌گذاری شود. این اقدامات، با افزایش مشارکت شهروندان و بهبود کارایی فرآیندهای تفکیک و بازیافت، به تقویت عملکرد کلی سیستم منجر می‌گردد. در مقابل، هزینه‌های بالای دفع پسماند و افزایش حجم تولید پسماند، حلقه‌های بازخورد متعادل‌کننده‌ای را ایجاد می‌کنند که رشد عملکرد سیستم را محدود می‌سازند. بر این اساس، فرضیه پویای پژوهش بیان می‌کند که ادغام زیرسیستم‌های اقتصادی، جمعیتی و آگاهی‌رسانی در چارچوب رویکرد اقتصاد چرخشی، می‌تواند به افزایش پایداری بلندمدت سیستم مدیریت پسماند جامد شهری در شهر بوشهر منجر شود.

مدل‌سازی پویایی سیستم

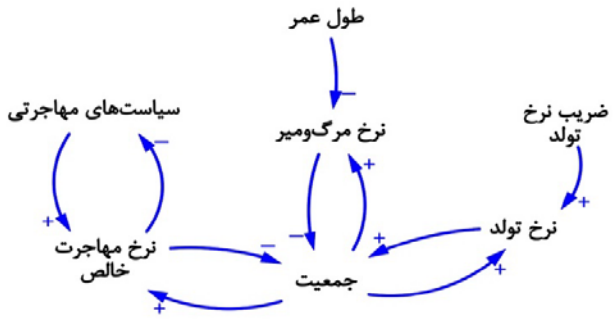
برای ایجاد مدل علت و معلولی به متغیرها و ارتباط بین آنها نیاز است که از طریق پیشینه نظری و دیدگاه خبرگان حاصل شد. مدل نهایی علت و معلولی دارای چهار بخش اصلی است: جمعیت، اقتصاد (تولید ناخالص داخلی)، مدیریت پسماند (شامل جمع‌آوری، بازیافت و دفن پسماند) و تبلیغات. این بخش‌ها به طور یکپارچه در یک سیستم پویا ادغام شده‌اند تا بتوانند نقش‌ها و تعاملات بین عوامل مختلف را در ایجاد یک سیستم کارآمد برای مدیریت پسماندهای شهری در بوشهر تشخیص دهند. این مدل به طور جامع برای ارزیابی سیاست‌های اقتصاد چرخشی در مدیریت پسماندهای جامد شهری و ارائه راه‌حل‌های عملیاتی توسعه داده شده است. این مدل با ادغام زیرسیستم‌های مرتبط با جمعیت، رشد اقتصادی، تولید و مدیریت پسماند و همچنین تبلیغات، امکان تجزیه و تحلیل همزمان ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را فراهم می‌کند. به این ترتیب، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند اثرات سیاست‌های مختلف را در یک چارچوب یکپارچه مشاهده کرده و سناریوهای مختلف را بررسی کنند.

مدل علّی پژوهش با بهره‌گیری از متغیرهای جمعیتی و اقتصادی، روابط علّی و حلقه‌های بازخورد مؤثر بر تولید و مدیریت پسماند شهری را تبیین می‌کند. این چارچوب مفهومی نشان می‌دهد که سیاست‌های اقتصاد چرخشی، به‌ویژه تبلیغات و مشوق‌های رفتاری، از طریق افزایش مشارکت شهروندان و نرخ تفکیک از مبدا، حلقه‌های بازخورد تقویتی ایجاد کرده و وابستگی سیستم به دفن پسماند را کاهش می‌دهند. در مقابل، هزینه‌های فزاینده دفن به‌عنوان یک سازوکار تعدیلی عمل می‌کند. مدل نهایی با ادغام زیرسیستم‌های جمعیتی، اقتصادی، مدیریتی و آگاهی عمومی، ابزاری تحلیلی برای درک پویایی‌های حاکم بر مدیریت پسماند خانگی شهر بوشهر فراهم می‌آورد. این مدل امکان شناسایی نقاط اهرمی و ارزیابی کیفی پیامدهای سیاست‌های اقتصاد چرخشی را فراهم کرده و می‌تواند مبنایی برای طراحی راهبردهای پایدار و بلندمدت مدیریت پسماند شهری باشد.

زیر سیستم جمعیتی

این مدل سیستم پویا با تمرکز بر شبیه‌سازی تغییرات جمعیتی در شهر بوشهر طراحی شده است. در شکل ۱ در مرکز مدل، متغیر جمعیت متغیر اصلی است که توسط سه متغیر (میزان زاد و ولد و نرخ خالص مهاجرت و میزان مرگ و میر) کنترل می‌شود. میزان زاد و ولد تابعی از ضریب نرخ تولد و جمعیت فعلی است و نرخ خالص مهاجرت به سیاست‌های مهاجرتی بستگی دارد. میزان مرگ و میر نیز تابعی از طول عمر است که با بهبود سلامت و کیفیت زندگی کاهش می‌یابد. توسعه صنایعی مانند نیروگاه اتمی بوشهر و مجتمع‌های پتروشیمی عسلویه و رونق گردشگری، به ویژه در حوزه اکوتوریسم، جذابیت منطقه را افزایش داده و مستقیماً بر نرخ خالص مهاجرت تأثیر گذاشته است.

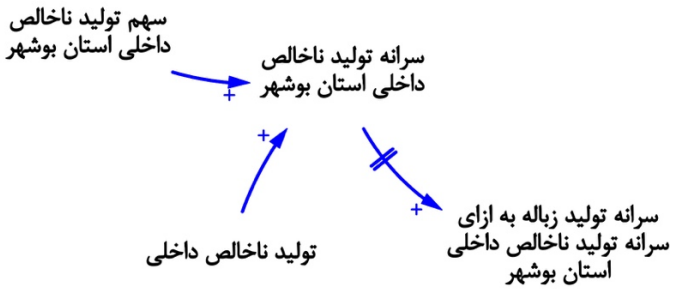
از دیدگاه پویایی‌شناسی سیستم، حلقه‌های بازخورد نقش تعیین‌کننده‌ای در این مدل دارند. با افزایش جمعیت، میزان زاد و ولد افزایش می‌یابد و یک حلقه تقویت‌کننده تشکیل می‌شود. در عین حال، میزان مرگ و میر به عنوان یک حلقه کاهش‌دهنده عمل می‌کند. مهاجرپذیر بودن استان نیز به عنوان یک حلقه تقویت‌کننده در رشد جمعیت نقش دارد.



شکل ۱. مدل علت و معلولی زیر سیستم جمعیت

زیر سیستم رشد اقتصادی

این بخش برای بررسی ارتباط کل تولید ناخالص داخلی ایران و همچنین سهم استان بوشهر در تولید ناخالص داخلی طراحی شده است تا بتوان تحلیلی از سرانه تولید پسماند در بوشهر انجام داد. در شکل ۲ در مرکز مدل، متغیر تولید ناخالص داخلی متغیر اصلی است. با گذشت زمان و تغییر نرخ رشد، میزان تولید ناخالص داخلی کشور نیز نوسان می‌کند. برای محاسبه سهم استان بوشهر در کل تولید ناخالص داخلی، از ضریب سهم تولید ناخالص داخلی بوشهر استفاده می‌شود. این ضریب نشان دهنده درصد تولید ناخالص داخلی است که به استان بوشهر اختصاص داده شده و می‌تواند بسته به ساختار اقتصادی، سرمایه‌گذاری‌های صنعتی، گردشگری یا سایر عوامل توسعه در استان تغییر کند. سپس با تقسیم حاصلضرب «تولید ناخالص داخلی» در این ضریب بر جمعیت استان، تولید ناخالص داخلی سرانه برای بوشهر به دست می‌آید. این شاخص مبنای سنجش سرانه قدرت اقتصادی استان و تحلیل‌های بعدی خواهد بود. در مرحله بعد، سرانه تولید پسماند از سرانه تولید ناخالص داخلی بوشهر تاثیر می پذیرد. بر این اساس، هرچه درآمد سرانه بالاتر باشد، انتظار می‌رود تولید سرانه پسماند نیز بیشتر باشد.



شکل ۲. مدل علت و معلولی زیر سیستم اقتصادی

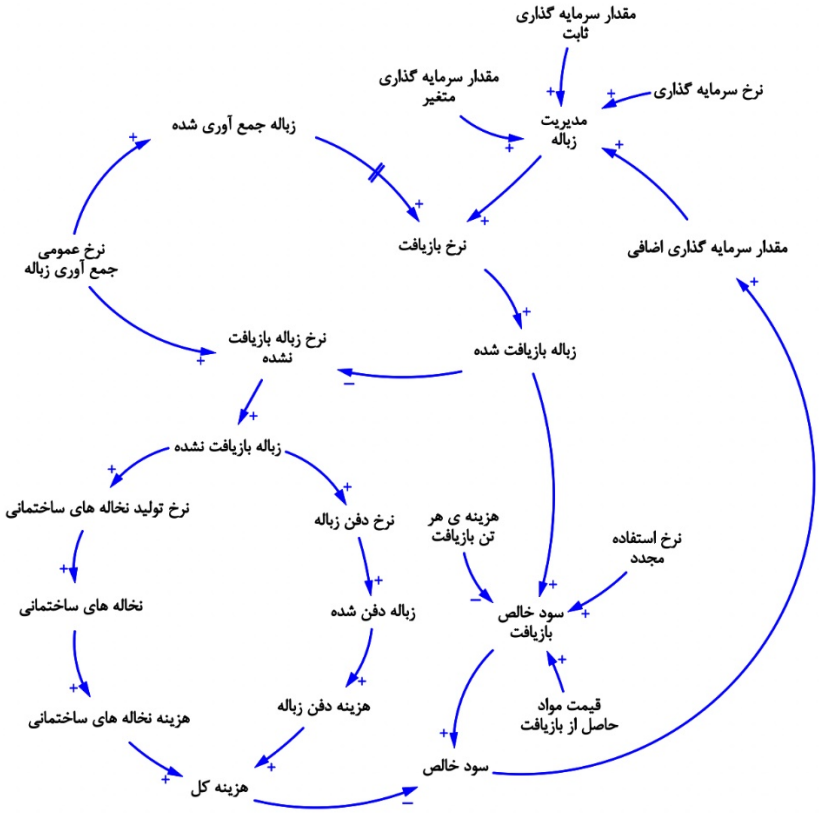
زیر سیستم مدیریت پسماند جامد شهری

به طور کلی سه جریان اصلی پسماند را در نظر گرفته شده است: جمع‌آوری، بازیافت و دفن پسماند. در شکل۳ در مرکز مدل، چندین متغیر کلیدی تعریف شده است: حجم جمع‌آوری‌شده، حجم بازیافت‌شده، حجم دفع‌شده و حجم پسماند غیربازیافت‌شده. این ذخیره‌ها با جریان‌های مختلفی مانند نرخ جمع‌آوری برای بازیافت، نرخ دفع و نرخ ساخت‌وساز مرتبط هستند. هدف اصلی مدل بررسی پویایی اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم مدیریت پسماند از طریق بازیافت و تأثیر سرمایه‌گذاری مجدد بخشی از سود حاصل از بازیافت بر بهبود تجهیزات و فرآیندهای مدیریت پسماند است. فرآیند جمع‌آوری با متغیر جمع‌آوری عمومی آغاز می‌شود

که نشان‌دهنده میزان پسماند تولید شده در جامعه است. این پسماند تولید شده ابتدا وارد متغیر حجم جمع‌آوری‌شده می‌شود. بخشی از این حجم از طریق متغیر نرخ جمع‌آوری برای بازیافت وارد مسیر بازیافت می‌شود و در متغیر حجم بازیافت ذخیره می‌شود. اگرمتغیر نرخ مدیریت جمع‌آوری بهبود یابد، پسماند بیشتری به بازیافت اختصاص داده می‌شود و در نتیجه، حجم جمع‌آوری‌شده از این طریق افزایش می‌یابد. متغیر سود خالص بازیافت از تفاوت بین قیمت بازیافت به ازای هر تن و هزینه بازیافت به ازای هر تن، ضرب در میزان خروجی برای بازیافت، به دست می‌آید. این سود خالص در متغیر سود خالص به همراه سایر هزینه‌ها و درآمدها منعکس می‌شود. تمام پسماندهایی که وارد بخش بازیافت نمی‌شوند، در متغیر پسماند های بازیافت نشده باقی می‌مانند. از این حجم، بخشی دفن می‌شود که نشان دهنده میزان پسماند دفن شده است. هزینه‌های دفع با متغیر «هزینه دفع» اندازه‌گیری می‌شود که تابعی از حجم دفع شده و «میانگین هزینه دفع به ازای هر تن» است. هرچه این هزینه‌ها بیشتر باشد، انگیزه اقتصادی برای بهبود نرخ بازیافت بیشتر است. این مدل همچنین بخشی از پسماندهای ساختمانی را از طریق متغیر نخاله‌های ساختمانی در نظر می‌گیرد.

یکی از مهمترین جنبه‌های این مدل، سرمایه‌گذاری مجدد بخشی از سود بازیافت است. متغیر سرمایه‌گذاری اضافی تابعی از نتیجه اقتصادی و سود خالص است. این به این معنی است که برای مثال اگر سود کافی وجود داشته باشد، درصدی از آن (مثلاً ۴٪) در مدیریت پسماند سرمایه‌گذاری مجدد می‌شود. در ابتدا، اگر سود کم باشد، سرمایه صرف خرید تجهیزات ساده مانند سطل‌های پسماند یا ارتقاء جزئی سیستم جمع‌آوری می‌شود. با افزایش سود، این سرمایه‌گذاری به سمت تجهیزات بزرگتر و پیشرفته‌تری هدایت می‌شود که می‌توانند نرخ بازیافت را به طور قابل توجهی بهبود بخشند. این مدل از حلقه‌های بازخورد مختلفی تشکیل شده است. یک حلقه تقویت‌کننده زمانی تشکیل می‌شود که سود حاصل از بازیافت، سرمایه‌گذاری را افزایش دهد که به نوبه خود نرخ جمع‌آوری برای بازیافت و نرخ مدیریت جمع‌آوری را بهبود می‌بخشد. این به نوبه خود سود حاصل از بازیافت را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، هزینه‌های بالای دفع نیز می‌توانند به عنوان یک متعادل‌کننده (کاهش‌دهنده) عمل کنند و در صورت ناکارآمدی سیستم بازیافت، سود نهایی را کاهش دهند. این پویایی بین حلقه‌های مثبت و منفی باعث می‌شود که مدل در طول زمان رفتارهای غیرخطی و پیچیده‌ای از خود نشان دهد.

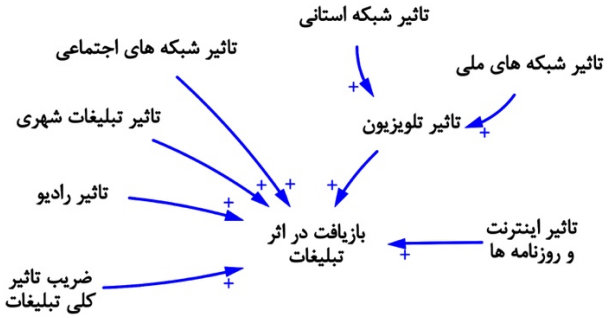
با استفاده از این مدل، مدیران و تصمیم‌گیرندگان شهری می‌توانند سناریوهای مختلفی را از نظر سیاست‌های مالی (مانند افزایش یا کاهش بودجه بازیافت)، تغییر قیمت مواد اولیه یا حتی تغییر نرخ تولید پسماند آزمایش کنند. همچنین، می‌توان اثربخشی طرح‌های تشویقی برای تفکیک از مبدا، بهبود زیرساخت‌های جمع‌آوری و تجهیز خطوط بازیافت را در قالب شبیه‌سازی بررسی کرد. نتیجه این مدل، تصویری پویا از رفتار سیستم مدیریت پسماند است که می‌تواند به عنوان ابزاری قدرتمند در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی بلندمدت برای کاهش هزینه‌ها، افزایش سود و حفظ محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳. مدل علت و معلولی زیر سیستم مدیریت پسماند

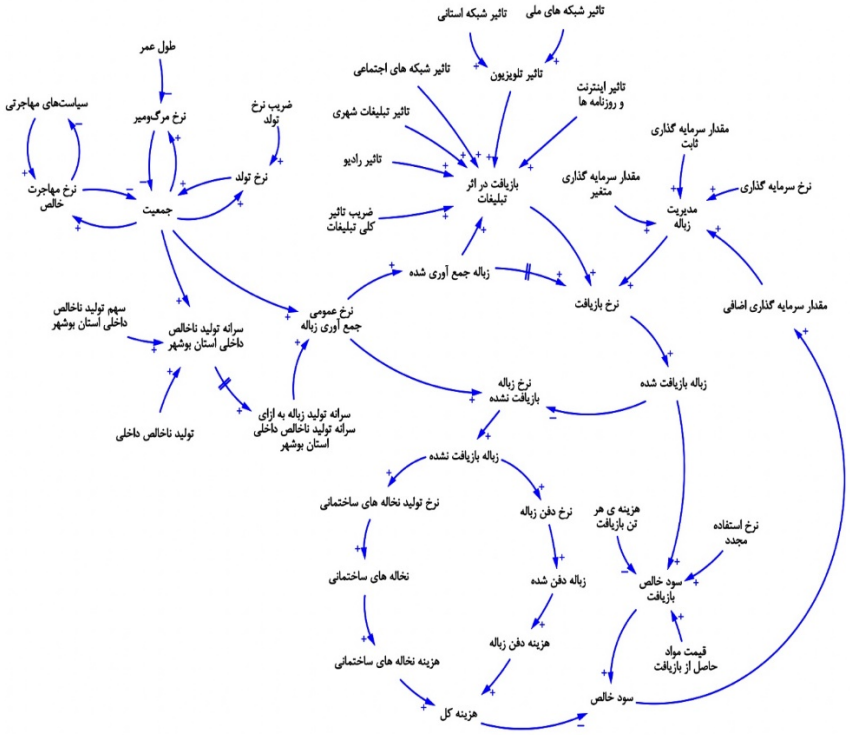
زیر سیستم آگاهی عمومی و تبلیغات

شکل ۴ مدل علت و معلولی این زیر سیستم را نشان می دهد. در این مدل، تبلیغات ابزاری برای افزایش نرخ بازیافت در نظر گرفته می‌شود. ایده اصلی این است که با آگاه‌سازی شهروندان در مورد مزایای جداسازی پسماند و تشویق آنها به همکاری در بازیافت، حجم بیشتری از پسماند به جای دفن شدن یا رها شدن در محیط، وارد چرخه بازیافت می‌شود. برای این منظور، متغیرهایی مانند تأثیر اخبار اینترنتی، تأثیر تبلیغات محیطی، تأثیر رادیو، تأثیر تلویزیون و تأثیر شبکه‌های اجتماعی تعریف شده‌اند که در کنار هم متغیری به نام بازیافت از طریق تبلیغات را تشکیل می‌دهند. این متغیر نشان‌دهنده اثربخشی تبلیغات در تشویق مردم به بازیافت است و مستقیماً بر نرخ جمع‌آوری برای بازیافت تأثیر می‌گذارد. با افزایش سرمایه‌گذاری در تبلیغات (به عنوان مثال، از طریق متغیر سرمایه‌گذاری اضافی که بخشی از سود بازیافت را به تبلیغات اختصاص می‌دهد) میزان بازیافت از طریق تبلیغات نیز افزایش می‌یابد. افزایش سرمایه گذاری می تواند روی متغیر ضریب تاثیر تبلیغات اثرگذاری خود را نشان دهد. در نتیجه، حجم بیشتری از پسماند به سمت بازیافت هدایت می‌شود و حجم پسماندهای دفن شده یا سوزانده شده کاهش می‌یابد. این فرآیند یک حلقه بازخورد مثبت ایجاد می‌کند: افزایش نرخ بازیافت منجر به کاهش هزینه‌های دفع و افزایش سود خالص بازیافت می‌شود که به نوبه خود سرمایه بیشتری را برای تبلیغات در دسترس قرار می‌دهد و این چرخه را بیشتر تقویت می‌کند.



شکل ۴. مدل علت و معلولی زیر سیستم آگاهی عمومی و تبلیغات

در نهایت، ترکیب تبلیغات مؤثر با سایر اجزای مدل (نرخ مدیریت جمع‌آوری، قیمت مواد اولیه جدید، هزینه بازیافت و غیره) به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که سناریوهای مختلفی را در مورد سیاست‌های تبلیغاتی و بودجه اختصاص داده شده به آنها در نظر بگیرند. در شکل ۵ این مدل جامع نشان داده شده است.



شکل ۵. مدل جامع علت و معلولی پژوهش

تحلیل نتایج علت و معلولی

چهار سناریوی سیاستی آزمون شده در این پژوهش عبارت‌اند از:

1. ادامه وضع موجود. (Baseline)

2. مداخله مبتنی بر افزایش تبلیغات و اطلاع‌رسانی (Advertising-focused)
3. مداخله مبتنی بر سرمایه‌گذاری مجدد در زیرساخت‌های جمع‌آوری و پردازش (Reinvestment-focused)
4. ترکیب هم‌زمان تبلیغات، سرمایه‌گذاری و مشوق‌های اقتصادی به‌همراه ادغام بخش غیررسمی (Combined)

برای هر سناریو، مسیرهای علت‌ـمعلولی کلیدی و حلقه‌های بازخورد غالب شناسایی و پارامترهای سیاستی جهت شبیه‌سازی‌های مقایسه‌ای تعیین شدند. جدول 4 این سناریوها را به تفکیک نشان می دهد.

جدول 3. تعریف و مشخصات سناریوهای علت – معلولی مورد بررسی

کد سناریو	عنوان سناریو	نوع مداخله اصلی	متغیرهای کلیدی فعال‌شده در مدل علی	حلقه‌های بازخورد غالب	هدف سیاستی
S1	ادامه وضع موجود	بدون مداخله جدید	تولید پسماند، جمع‌آوری، دفن، بازیافت محدود	حلقه‌های تعادلی هزینه—دفن	ایجاد مبنای مقایسه برای سایر سناریوها
S2	تمرکز بر تبلیغات	افزایش تبلیغات رسانه‌ای و شهری	شدت تبلیغات، آگاهی خانوار، مشارکت شهروندان، نرخ تفکیک از مبدا	حلقه تقویتی تبلیغات—مشارکت—بازیافت	تغییر رفتار شهروندان و افزایش تفکیک از مبدا
S3	تمرکز بر سرمایه‌گذاری مجدد	افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت بازیافت	ظرفیت پردازش، نرخ بازیافت واقعی، سود خالص بازیافت	حلقه تقویتی سرمایه‌گذاری—ظرفیت—درآمد	افزایش توان عملیاتی و کاهش دفن
S4	سناریوی ترکیبی	تبلیغات + سرمایه‌گذاری + مشوق اقتصادی	تبلیغات، مشارکت، ظرفیت پردازش، مشوق‌ها، ادغام بخش غیررسمی	چند حلقه تقویتی هم‌زمان	بیشینه‌سازی بازیافت و پایداری اقتصادی

(a) در ادامه فرضیات هر سناریو شرح داده می شود:

- فرضیه سناریو S1: در صورت تداوم سیاست‌های فعلی و عدم مداخله در تبلیغات و سرمایه‌گذاری، نرخ بازیافت پسماند شهری بوشهر در بلندمدت تغییر معناداری نخواهد داشت و هزینه کل مدیریت پسماند با افزایش تولید پسماند روندی افزایشی خواهد داشت.
- فرضیه سناریو S2: افزایش شدت تبلیغات و اطلاع‌رسانی زیست‌محیطی، از طریق تقویت آگاهی و مشارکت خانوارها، موجب افزایش نرخ تفکیک از مبدا و رشد نرخ بازیافت پسماند شهری خواهد شد، اما در صورت عدم توسعه ظرفیت پردازش، اثر آن در میان‌مدت با محدودیت مواجه می‌شود.
- فرضیه سناریو S3: افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های جمع‌آوری و پردازش پسماند، نرخ بازیافت واقعی را افزایش داده و حجم دفن را کاهش می‌دهد، با این حال اثربخشی کامل این سیاست به سطح مشارکت شهروندان و جریان ورودی پسماند تفکیک‌شده وابسته است.
- فرضیه سناریو S4: اجرای هم‌زمان سیاست‌های تبلیغاتی، سرمایه‌گذاری مجدد در زیرساخت‌ها و مشوق‌های اقتصادی، با فعال‌سازی حلقه‌های بازخورد تقویتی چندگانه، بیشترین تأثیر را بر افزایش نرخ بازیافت، کاهش دفن پسماند و بهبود پایداری اقتصادی سیستم مدیریت پسماند شهری خواهد داشت.

Section 1.02

Section 1.03 سناریوی 1: ادامه وضع موجود

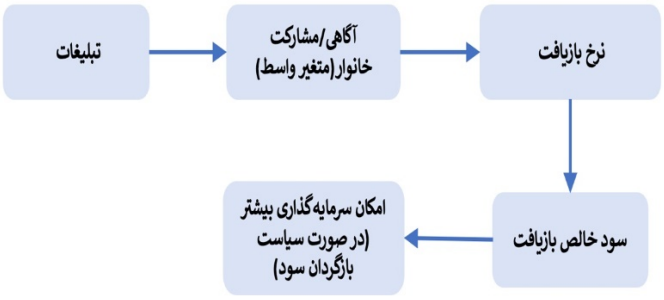
در این حالت، هیچ مداخله جدیدی در تبلیغات یا سرمایه‌گذاری انجام نمی‌شود و کار با ساختار و بودجه فعلی ادامه می‌یابد. مسیرهای علّی کلیدی در شکل ۶ نشان داده شده است:

شکل ۶. مسیر علّی کلیدی سناریو 1

حلقه‌های بازخورد غالب به صورت تعادل منفی است. این تعادل منفی ناشی از هزینه‌های دفن (که بخشی از منابع را جذب می‌کند) می باشد و مانع سرمایه‌گذاری بیشتر می‌شود. از نتایج کیفی مورد انتظار می توان به نرخ بازیافت ثابت یا کاهش تدریجی با رشد تولید پسماند؛ افزایش هزینه‌های کل؛ و ثابت ماندن ظرفیت بازیافت اشاره کرد. این سناریو به‌عنوان مرجع مقایسه‌ای برای نشان دادن اثرات سیاست‌ها آورده شده است.

❖ **سناریوی 2: تمرکز بر تبلیغات و اطلاع‌رسانی**

در این سناریو افزایش قابل‌توجه بودجه و شدت فعالیت‌های تبلیغاتی (تلویزیون، رادیو، شبکه‌های اجتماعی، تبلیغات شهری) با هدف افزایش آگاهی خانوارها و نرخ تفکیک از مبدا لحاظ میگردد. مسیرهای علّی کلیدی در شکل ۷ آورده شده است.

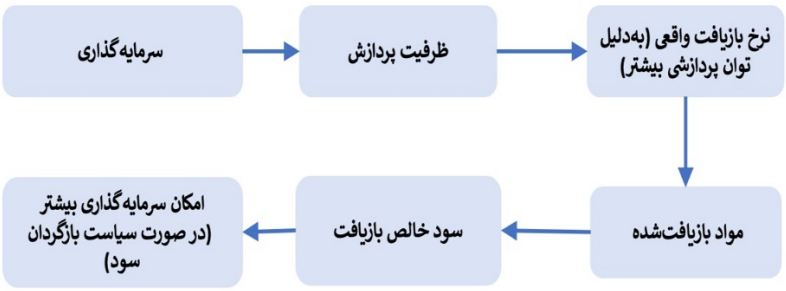


شکل ۷. مسیر علّی کلیدی سناریو 2

لازم به ذکر است که حلقه‌ی تعدیلی هزینه دفن که با افزایش بازیافت کاهش می‌یابد نیز باعث بهبود اقتصادی نسبی می شود. با بررسی مسیر علّی در این سناریو و حلقهی تعدیلی هزینه دفن نتایج کیفی مورد انتظارشامل مواردی نظیر افزایش نرخ تفکیک از مبدا و بازیافت؛ کاهش حجم دفن؛ کاهش هزینه‌های مستقیم دفن در بلندمدت می باشد. از سوی دیگر چنانچه ظرفیت پردازش افزایش نیابد، احتمال تجمع پسماند تفکیک‌شده وجود دارد که می توان از آن به عنوان یک گلوگاه عملیاتی یاد کرد. پیامد سیاستی این سناریو بیان میدارد که تبلیغات به‌تنهایی می‌تواند اثر نخستین قابل‌توجهی روی رفتار خانوارها داشته باشد اما برای تبدیل رفتار به خروجی‌های پایدار باید همزمان ظرفیت پردازش و مشوق‌های اقتصادی نیز فراهم شود.

❖ **سناریوی 3: تمرکز بر سرمایه‌گذاری مجدد در زیرساخت و ظرفیت**

این سناریو به تخصیص منابع برای افزایش ظرفیت جداسازی، خطوط پردازش ارگانیک (کمپوست)، ظرفیت بازیافت مکانیزه، و ادغام یا حمایت از بخش غیررسمی بازیافت (مثلاً تسهیلات جمع‌آوری یا خرید مواد) اختصاص دارد. مسیرهای علّی کلیدی در شکل ۸ آورده شده است.

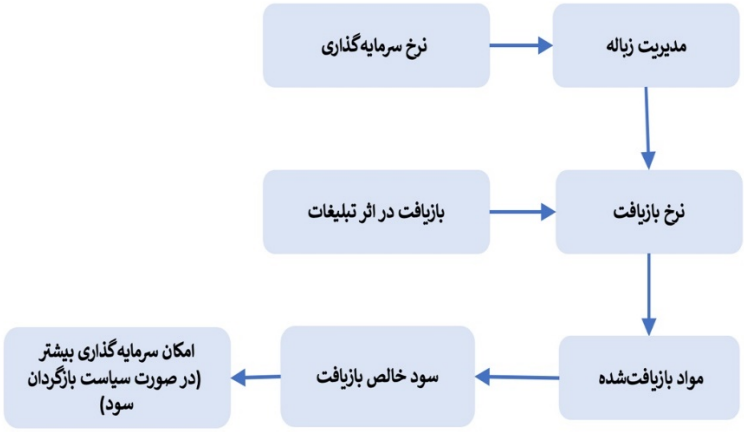


شکل ۸.مسیر علّی کلیدی سناریو 3

اگر تبلیغات کم باشد، ظرفیتِ افزایش‌یافته ممکن است کمتر از حداکثر ظرفیت مورد استفاده قرار گیرد. در صورت وجود تقاضای مواد بازیافتی (بازار) سودآوری و کاهش دفن محسوس خواهد بود. در بلندمدت کاهش هزینه‌های دفن و بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی مشاهده می‌شود. بنابراین سرمایه‌گذاری بدون ایجاد انگیزه تقاضا و تفکیک، ممکن است بهره‌وری کمتری داشته باشد. به همین دلیل ترکیب با مداخلات رفتاری/بازاری توصیه می‌شود.

❖ **سناریوی 4 : ترکیب تبلیغات قوی و سرمایه‌گذاری مجدد همراه با مشوق‌ها**

سناریوی ترکیبی که هم بودجه تبلیغات افزایش می‌یابد و هم سرمایه‌گذاری در ظرفیت پردازش بالا می‌رود در این بخش مد نظر است. علاوه بر موارد گفته شده، مشوق‌های اقتصادی (یارانه، پرداخت بر اساس تحویل مواد بازیافتی، نرخ‌گذاری منفی دفن یا مالیات دفن) و ادغام بخش غیررسمی فعال می‌شود. مسیرهای علّی کلیدی در شکل ۹ آورده شده است.



شکل ۹.مسیر علّی کلیدی سناریو 4

نتایج کیفی مورد انتظارشامل بیشترین بهبود در نرخ بازیافت و کاهش دفن، کاهش هزینه خالص مدیریت در میان مدت و افزایش سود خالص بخش بازیافت است. بهره‌برداری از ظرفیت حداکثر می‌شود و حلقه‌های تقویتی موجب تسریع تحول سیستم خواهند

شد. ترکیب اقدامات رفتاری و سرمایه‌ای همراه با مشوق‌های اقتصادی و سازوکارهای بازار (خرید مواد بازیافتی) مؤثرترین راهکار برای دستیابی به اهداف بازیافت است.

بحث

مدل پویایی‌سیستم توسعه‌یافته نشان داد که چند حلقه بازخورد کلیدی تعیین‌کننده رفتار بلندمدت سیستم مدیریت پسماند در بوشهر هستند. مهم‌ترین حلقه‌ها عبارت‌اند از: حلقه تقویتی «تبلیغات – آگاهی و مشارکت شهروندان – نرخ تفکیک از مبدا – حجم بازیافت – افزایش درآمد و امکان سرمایه‌گذاری مجدد»؛ حلقه تقویتی «سود بازیافت – سرمایه‌گذاری مجدد در ظرفیت پردازش – افزایش ظرفیت و خروجی بازیافت – افزایش سود»؛ و حلقه تعدیلی «افزایش حجم دفن – افزایش هزینه‌های دفع – محدودیت منابع و کاهش انگیزه برای سرمایه‌گذاری». این ساختار حلقه‌ای باعث می‌شود که مداخلات ترکیبی (رفتاری و سرمایه‌ای) اثر تجمعی و بزرگی بر خروجی‌ها داشته باشند، درحالی‌که هر مداخله به‌تنهایی (مثلاً تبلیغات بدون توسعه ظرفیت) ممکن است در میان‌مدت با گلوگاه عملیاتی مواجه شود. یافته‌ها با نتایج مطالعاتی که نقش ترکیبی مداخلات رفتاری و سرمایه‌گذاری را برجسته کرده‌اند هم‌راستا است. مطالعات مشابه نشان داده‌اند که تبلیغات یا آگاهی‌رسانی به‌تنهایی می‌تواند رفتار شهروندان را تغییر دهد ولی برای تبدیل رفتار به جریان پایدار بازیافت نیاز به ظرفیت پردازش و سازوکارهای بازار وجود دارد. در این راستا، نتایج مدل ما مشابهِ گزارش‌ها و مطالعات پویایی‌سیستم و اقتصاد چرخشی است که ترکیب سیاست‌های رفتاری و زیرساختی را موثر می‌دانند. با این حال، تفاوت این پژوهش در این است که در زمینه‌ی شهریِ بوشهر (با ترکیب بالا از پسماند آلی و محدودیت‌های مکانی محل دفن) اثرگذاری سریع‌ترِ سرمایه‌گذاری در خطوط پردازش ارگانیک و ادغام بخش غیررسمی محسوس‌تر است، زیرا سهم بالای پسماند غذایی فرصت‌های کمپوست و کاهش دفن را تقویت می‌کند. نوآوری اصلی این پژوهش در سه جنبه است: (۱) ادغام محرک‌های رفتاری (تبلیغات و کانال‌های رسانه‌ای) به‌صورت صریح در چارچوب مدل پویایی‌سیستم؛ (۲) اتصال مستقیم سودآوری اقتصادی بازیافت به سازوکار سرمایه‌گذاری مجدد و بررسی اثرات این سرمایه‌گذاری بر حلقه‌های بازخورد؛ و (۳) تمرکز موردی بر یک شهر ساحلی و متوسط در خاورمیانه (بوشهر) که ترکیب پسماند و محدودیت‌های مکانی آن الگوی متفاوتی نسبت به نمونه‌های کشورهای صنعتی دارد. این ترکیبِ رویکردی، ارزش افزوده‌ای فراهم می‌کند که برای سیاست‌گذاران محلی کاربردی و قابل انتقال به شهری مشابه است.

این پژوهش با محدودیت‌هایی روبروست که در ادامه به‌صورت مستقیم بیان می شود. بیان این محدودیت‌ها مسیرهای واضحی برای کارهای بعدی مشخص می‌نماید:

- **عدم شبیه‌سازی کامل بخش غیررسمی :**در حالی که ادغام یا حمایت از بخش غیررسمی به‌عنوان یک سناریو مطرح شده است، مدل به‌صورت کامل شبکه‌ها، انگیزه‌ها و سازوکارهای پیچیده‌ی بازیافت غیررسمی را مدل‌سازی نکرده و تنها پیامدهای بالقوه‌ی ادغام را در قالب سناریو بررسی کرده است.
- **وابستگی به داده‌های تاریخی و فرضیات پارامتری :**مدل بر مجموعه‌ی داده‌های تاریخی (جمع‌آوری‌شده و پردازش‌شده در مرحله روش‌شناسی) و برآوردهای خبرگان متکی است. این وابستگی می‌تواند نتیجه‌گیری‌های کمی را تحت تأثیر خطاهای داده‌ای یا تغییرات ساختاری آینده قرار دهد. به‌روزرسانی دوره‌ای داده‌ها ضروری است .
- **ساده‌سازی روابط اجتماعی–رفتاری :** اثرگذاری تبلیغات و رفتار شهروندان به‌صورت تابع‌های نسبتاً ساده در مدل وارد شده‌اند؛ ولی رفتار واقعی جمعیت پیچیدگی‌های بیشتری (مانند خستگی پیام، تعاملات اجتماعی، تفاوت‌های منطقه‌ای) دارد که ممکن است به کاهش دقت پیش‌بینی بینجامد.

- **محدودیت‌های مقیاس‌پذیری و بازار :**مدل فرض می‌کند که بازار مواد بازیافتی وجود دارد یا می‌تواند ایجاد شود. در شرایط واقعی، بازار محلی و قیمت مواد ممکن است ناپایدار باشد و سودآوری را تحت تأثیر قرار دهد .

نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی

از آنجا که رشد اقتصادی و جمعیتی بوشهر به طور مداوم در حال افزایش است این روند مستقیماً منجر به افزایش تولید پسماند شهری می‌شود. اگر سیاست‌های جدید اجرا نشود، این رشد طبیعی تولید پسماند چالش‌های جدی در مدیریت آن ایجاد خواهد کرد. این تحقیق از مدل‌سازی پویایی سیستم برای ارزیابی تأثیر جمعیت و رشد اقتصادی بر تولید پسماند استفاده می‌کند. همچنین با افزودن سناریوهای اقتصاد چرخشی با تاکید بر محرک های رفتاری نظیر تبلیغات، چارچوبی عملی برای شهرهای متوسط در کشورهای در حال توسعه فراهم می‌کند تا به مشکلات خاص مدیریت پسماند خود رسیدگی کنند.

یافته‌های مدل نشان می‌دهد چند حلقه ی بازخورد کلیدی رفتار سیستم مدیریت پسماند بوشهر را تعیین می‌کنند؛ به‌خصوص حلقه‌های تقویتی ناشی از تبلیغات – افزایش تفکیک از مبدا – افزایش بازیافت و بازخورد سرمایه‌گذاری مجدد از سود بازیافت. همچنین سناریوی ترکیبی (هم‌زمانی مداخلات رفتاری و سرمایه‌گذاری در ظرفیت پردازش) بیشترین تأثیر در کاهش دفن و افزایش نرخ بازیافت را نشان داد.

به مدیران شهرداری توصیه می‌شود که به بهبود سیستم‌های جمع‌آوری و نظارت دقیق بر داده‌های مربوط به تولید پسماند توجه ویژه‌ای داشته باشند. استفاده از فناوری‌های مدرن می‌تواند به شناسایی سریع مسائل بحرانی و پشتیبانی از برنامه‌ریزی بهتر مدیریت پسماند کمک کند. در راستای سیاست‌های اقتصاد چرخشی، پیشنهاد می‌شود که رویکرد بازیافت و استفاده مجدد از منابع به عنوان محور اصلی سیاست‌های مدیریت پسماند اتخاذ شود. این رویکرد نیاز به دفن پسماند را کاهش می‌دهد، بهره‌وری اقتصادی را افزایش می‌دهد و هزینه‌های فعلی مدیریت پسماند را کاهش می‌دهد. تقی زاده و همکاران(۲۰۲۵) در مطالعه خود نیز تاکید داشتند که بازیافت مناسب‌ترین راهکار اقتصادی برای مدیریت حجم جالب توجه مواد تولیدی قابل بازیافت در این شهر است و می‌تواند فرصت‌های شغلی ایجاد کند. این نتایج با مطالعات مشابه که بر ترکیب سیاست‌های رفتاری و زیرساختی تأکید دارند هم‌راستا است. تفاوت‌های جزئی با برخی مطالعات بین‌المللی عمدتاً به ترکیب بالای پسماند آلی در بوشهر و محدودیت‌های کالبدی محل دفن بازمی‌گردد که سرعت و شدت بازخوردها را تغییر می‌دهد.

افزایش آگاهی عمومی در مورد جداسازی و بازیافت پسماند گامی مهم در جهت تغییر عادات مصرف است. کمپین‌های آموزشی و تبلیغات رسانه‌ای از طریق پلتفرم‌های دیجیتال، تلویزیون، مطبوعات و رسانه‌های اجتماعی می‌توانند به مردم در درک مزایا و مشارکت فعال در فرآیند جداسازی پسماند کمک کنند. یافته‌های تحقیق بهرامی مقدم و امین نژاد(۱۳۹۶) نیز حاکی از آن است که تبلیغات در بالاترین میزان از آگاهی بخشی قرار دارد و بیان داشتند که با تغییراتی در بودجه‌ی تبلیغاتی، شکل و محتوای پیام‌ها و نوع رسانه‌ها و کانال‌های ارتباطی و حتی زمان و شرایط اجرای تبلیغ اثرگذاری آن را از گذشته بیشتر نمود. نوآوری این پژوهش در ادغام صریح محرک‌های رفتاری (تبلیغات و مشوق‌ها) در چارچوب پویایی‌سیستم و اتصال مستقیم سودآوری بازیافت به سازوکار سرمایه‌گذاری مجدد است؛ امری که کاربردپذیری نتایج را برای سیاست‌گذاران شهری افزایش می‌دهد.

سرمایه‌گذاری مجدد بخشی از سود حاصل از بازیافت در ارتقای تجهیزات و فناوری‌های بازیافت، توصیه مهم دیگری است. مدیران می‌توانند با اختصاص حدود بخشی از سود بازیافت به خرید تجهیزات پیشرفته، کارایی سیستم‌های بازیافت را بهبود بخشند و درصد کارایی را بهبود ببخشند. تشویق به جداسازی پسماند در مبدا با ارائه مشوق‌های مالی مانند یارانه و تخفیف های مالیاتی برای خانوارها و شرکت‌هایی که بازیافت می‌کنند، می‌تواند نرخ بازیافت را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. این سیاست‌ها علاوه بر کاهش هزینه‌های دفن پسماند، انگیزه لازم را برای مشارکت بیشتر در اقتصاد چرخشی نیز فراهم می‌کند.

این پژوهش چند محدودیت دارد که باید در تفسیر نتایج در نظر گرفته شود: (۱) عدم مدل‌سازی کامل سازوکارهای بخش غیررسمی جمع‌آوری، (۲) وابستگی به داده‌های تاریخی و مفروضات پارامتری که ممکن است در آینده تغییر کنند، و (۳) ساده‌سازی برخی روابط اجتماعی–رفتاری که پیچیدگی‌های واقعی رفتار شهروندان را کاملاً منعکس نمی‌کند.

تدوین و اجرای قوانین و مقررات حمایتی برای ایجاد استانداردهای جدید در مدیریت پسماند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اعمال جریمه‌های لازم برای عدم جداسازی پسماند و ارائه مشوق‌های مالی به اپراتورهای بازیافت می‌تواند کیفیت و کارایی سیستم مدیریت پسماند را بهبود بخشد. همچنین با توجه به محدودیت‌های جغرافیایی بوشهر در محل دفن پسماند، توصیه می‌شود سیاست‌های جایگزین و مکمل در زمینه بازیافت و استفاده مجدد از مواد زائد در نظر گرفته شود. این رویکرد نه تنها فشار بر فضای دفن پسماند را کاهش می‌دهد، بلکه به بهره‌وری اقتصادی نیز کمک می‌کند و اثرات زیست‌محیطی دفن پسماند را کاهش می‌دهد.

توجه به توسعه زیرساخت‌های فناوری اطلاعات برای بهبود مدیریت و نظارت بر فرآیندهای جمع‌آوری، جداسازی، بازیافت و دفن پسماند ضروری است. همکاری قوی بین شهرداری و بخش خصوصی کلید اجرای موفقیت‌آمیز سیاست‌های اقتصاد چرخشی است. تشکیل کمیته‌های مشترک و استفاده از تجربیات موفق به تقویت کارایی سیستم مدیریت پسماند کمک خواهد کرد. پیشنهاد می‌شود پروژه‌های آزمایشی در حوزه‌های مختلف بازیافت و جداسازی پسماند اجرا شود تا بهترین راهکارها در مقیاس کوچک آزمایش و سپس در مقیاس بزرگ در شهر بوشهر اجرا شوند. این اقدامات می‌تواند منجر به شناسایی نقاط قوت و ضعف سیستم موجود و ایجاد اصلاحات لازم شود.

به‌روزرسانی منظم مدل شبیه‌سازی و فرضیات آن به تنظیم سیاست‌ها با تغییرات سریع اقتصادی و جمعیتی کمک می‌کند. به این ترتیب، مدیران می‌توانند نتایج را مرتباً بررسی کرده و استراتژی‌های خود را با شرایط واقعی هماهنگ نگه دارند. همکاری نزدیک با دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی نیز از مدیریت بهتر پسماند در بوشهر پشتیبانی می‌کند. این مشارکت‌ها می‌تواند شامل تحقیقات مشترک، اشتراک‌گذاری دانش و ارائه فناوری‌های جدید بازیافت باشد.

در نهایت، ایجاد یک استراتژی بلندمدت برای مدیریت پسماند شهری مهم است. این استراتژی باید شامل اهداف روشن و شاخص‌های قابل اندازه‌گیری باشد. این مدل باید به طور منظم و با دریافت نظرات همه ذینفعان، مورد بررسی و بهبود قرار گیرد. استفاده از نتایج شبیه‌سازی و تجربیات گذشته می‌تواند به ساخت سیستمی پایدار و کارآمد کمک کند. تحقیقات آینده می‌توانند با پرداختن به جریان‌های پسماند اضافی و ادغام داده‌های رفتاری و مکانی، بر اساس این مدل بنا شوند. چنین توسعه‌هایی دقت مدل را افزایش داده و از توسعه سیاست‌های مؤثرتر پشتیبانی می‌کنند.

به‌منظور افزایش شفافیت و کاربردپذیری نتایج مدل، پیشنهادات سیاستی با تمرکز بر زمان‌بندی اجرای اقدامات، ارائه می‌شوند. در کوتاه‌مدت (۰–۱۲ ماه)، تمرکز سیاست‌ها باید بر افزایش آگاهی و مشارکت شهروندان از طریق تبلیغات هدفمند، اجرای طرح‌های آزمایشی مشوق برای تفکیک پسماند از مبدا و بهبود جمع‌آوری داده‌های مرتبط با تولید و ترکیب پسماند باشد. در میان‌مدت (۱–۳ سال)، توسعه زیرساخت‌ها از طریق افزایش ظرفیت پردازش پسماندهای آلی، مکانیزه‌سازی خطوط بازیافت و تخصیص بخشی از سود حاصل از بازیافت به سرمایه‌گذاری مجدد در تجهیزات و فناوری‌ها ضروری است. در بلندمدت (بیش از ۳ سال)، ایجاد سازوکارهای پایدار بازار برای محصولات بازیافتی، کاهش وابستگی به دفن پسماند و برنامه‌ریزی جامع برای توسعه اقتصاد چرخشی در سطح منطقه‌ای باید در اولویت قرار گیرد.

در نهایت برای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌شود: (۱) سهم و سازوکار بخش غیررسمی جمع‌آوری به‌صورت متغیر مستقل در مدل وارد شود و سناریوهای ادغام یا حمایت از این بخش شبیه‌سازی گردد؛ (۲) داده‌های رفتاری و مکانی (محله‌ای) جمع‌آوری شده و برای کالیبراسیون مدل به‌کار روند؛ و (۳) تحلیل حساسیت و «استرس–تست» سناریوها نسبت به تغییرات سریع اقتصادی و نوسانات بازار مواد بازیافتی اجرا شود تا پایداری سیاست‌ها آزموده شود.

موسسه حامی مقاله

مرکز پژوهش و مطالعات راهبردی شهرداری بوشهر

شهر بوشهر، استان بوشهر، ایران.

Address Affiliation:
Strategic Studies and Research Center Bushehr Municipality
Bushehr City, Bushehr Province, Iran.

References

Abdolalipour, A. H., & Babardel, S. (2025). Fuzzy modeling of the effects of green advertising on consumers' green preferences. *Journal of Intelligent Marketing Management*, 6(2), 206–229. (In Persian)

Almulhim, A. I. (2022). Household awareness and participation in sustainable electronic waste management practices in Saudi Arabia. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(4). https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101729

Amoosi, F., Fazeli, S., Arasti, Z., & Elahi, S. M. (2022). Designing a green entrepreneurship development model in the field of urban waste management. *Strategic Management Quarterly*, 31(107). (In Persian)

Brinton, A., Townsend, T. G., Diehl, D. C., Deliz Quiñones, K., & Lichtenstein, M. M. (2023). Systems thinking and solid waste management in Puerto Rico: Feedback loops over time. *Sustainability*, 15(5). https://doi.org/10.3390/su15054648

Bahrami Moghadam, H., & Aminnejad, M, (2017). Investigation of the effect of television advertising on urban waste management, case study of areas 2 and 5 of Tehran Municipality, *Second International Conference and Fourth National Conference on Management and Humanities Research in Iran*, Tehran.

Cheng, X., Yang, J., & Zhang, L. (2023). Express packaging waste recycling: Stakeholders' dynamic behavioral changes based on a computational evolutionary game approach. *Computers & Industrial Engineering*, 183. https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109519

De Gisi, S., Todaro, F., Fedele, G., Carella, C., & Notarnicola, M. (2018). Alternating pure oxygen and air cycles for biostabilization of unsorted municipal solid waste. *Waste Management*, 79, 404–414. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.011

de Lorena Diniz Chaves, G., Siman, R. R., & Chang, N. B. (2021). Policy analysis for sustainable refuse-derived fuel production in Espírito Santo, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 294. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126344

Ebrahimzadeh, R., Haghighat, S., & Hemmati, A. (2018). Proposing a model for evaluating the effectiveness of urban advertising with a financial–economic approach. *Urban Management Studies*, 17(51), 345–356. (In Persian).

Gomonov, K., Ratner, S., Lazanyuk, I., & Revinova, S. (2021). Clustering of EU countries by the level of circular economy: An object-oriented approach. *Sustainability*, 13(13). https://doi.org/10.3390/su13137158

Hatem, F., Najafbeigi, R., & Kamali, M. J. (2022). Application of Bayesian structural equation modeling to analyze the effects of consumer attitudes and awareness on intention to participate in electronic waste collection systems. *Journal of Environmental Studies (JEST)*, 129–145. (In Persian)

Hrabec, D., Kůdela, J., Šomplák, R., Nevrlý, V., & Popela, P. (2020). Circular economy implementation in waste management network design: A case study. *Central European Journal of Operations Research*, 28(4), 1441–1458. https://doi.org/10.1007/s10100-019-00626-z

Ibarra Vega, D., & Bautista-Rodriguez, S. (2024). The impact of circular economy strategies on municipal waste management: A system dynamics approach. *Cleaner Engineering and Technology*, 21. https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100761

Kala, K., Bolia, N. B., & Sushil. (2022). Analysis of informal waste management using system dynamics modelling. *Heliyon*, 8(8). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09993

Kazemi, A., & Mozaffari, S. (2019). Examining the relationship between urban advertising and awareness of citizens' rights. *Urban Management Studies*, 11(39). Islamic Azad University, Shiraz Branch. (In Persian)

Lee, Y. J., Haley, E., & Yang, K. (2019). The role of organizational perception, perceived consumer effectiveness, and self-efficacy in recycling advocacy advertising effectiveness. *Environmental Communication*, 13(2), 239–254. https://doi.org/10.1080/17524032.2017.1308407

Michael, L. K., Hungund, S. S., & Sriram, K. V. (2024). Factors influencing e-waste recycling behavior using an integrated TPB–NAM model. *Cogent Social Sciences*. https://doi.org/10.1080/23311975.2023.2295605

Nguyen, T. H. T., Nguyen, T. T. T., Ha, N. H., Nguyen, K. L. P., & Bui, T. K. L. (2024). Toward a circular economy for improved municipal solid waste management in Can Gio District, Ho Chi Minh City. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 38. https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101480

Pinha, A. C. H., & Sagawa, J. K. (2020). A system dynamics modelling approach for municipal solid waste management and financial analysis. *Journal of Cleaner Production*, 269. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122350

Pizarro-Alonso, A., Cimpan, C., Ljunggren Söderman, M., Ravn, H., & Münster, M. (2018). The economic value of imports of combustible waste in systems with high shares of district heating and variable renewable energy. *Waste Management*, 79, 324–338. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.031

Rashedi, N., Bashirkhodaparasti, R., Bagheri Gharahbolagh, H., & Asgarnjad Nouri, B. (2024). Investigating the effect of environmental advertising on environmental performance of urban management: The mediating role of perceived environmental quality and the moderating role of green psychological benefits. *Natural Environment Journal*, 77(3), 467–479. (In Persian)

Romano, G., Lombardi, G. V., Rapposelli, A., & Gastaldi, M. (2022). Factors affecting separate waste collection rates in Italian provinces: An empirical investigation. *Waste Management*, 139, 217–226. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.037

Roy, E. D., et al. (2021). Compost quality and markets are pivotal for sustainability in circular food–nutrient systems: A case study of Sri Lanka. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.748391

Salhofer, S., Obersteiner, G., Schneider, F., & Lebersorger, S. (2008). Potentials for the prevention of municipal solid waste. *Waste Management*, 28(2), 245–259. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.026

Sharifabadi, M. M., & Ziaeian, A. (2023). Analysis of urban waste management using a system dynamics approach. *Journal of Systems Thinking in Practice*, 2(3), 21–45. https://doi.org/10.22067/jstinp.2023.84193.1073

Sharma, P., Bano, A., Singh, S. P., Varjani, S., & Tong, Y. W. (2024). *Sustainable organic waste management and future directions for environmental protection: Techno-economic perspectives*. Springer. https://doi.org/10.1007/s40726-024-00317-7

Sharma, S., Basu, S., Shetti, N. P., & Aminabhavi, T. M. (2020). Waste-to-energy nexus for circular economy and environmental protection: Recent trends in hydrogen energy. *Science of the Total Environment*, 713. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136633

Sheikholeslami, M., Layergiani, A., Bagheri, A., & Kouchakian, M. (2007). *Investigation and methods of solid waste disposal in the cities of Bushehr, Delvar, Ahram, Choghadak, and the new city of Alishahr: Summary of the comprehensive waste management plan*. Bushehr.

Shi, J., Wang, R., Chen, W., Xing, L., & Jin, M. (2020). Bi-objective design of household e-waste collection with public advertising and competition from informal sectors. *Waste Management*, 102, 65–75. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.018

Šomplák, R., Kůdela, J., Smejkalová, V., Nevrlý, V., Pavlas, M., & Hrabec, D. (2019). Pricing and advertising strategies in conceptual waste management planning. *Journal of Cleaner Production*, 239. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118068

Tabar, S. A. M. M., Ragusa, A. T., Ramyar, S. J., & Sohrabi, M. (2024). Bottled water consumption and disposal in Herat, Afghanistan. *Environment and Urbanization ASIA*. https://doi.org/10.1177/09754253241281947

Taffuri, A., Sciullo, A., Diemer, A., & Nedelciu, C. E. (2021). Integrating circular bioeconomy and urban dynamics for innovative biowaste management: The case of Turin. Sustainability, 13(11). https://doi.org/10.3390/su13116224.

Taghizadeh, S., Tavakoli, B., Torkaman, J. and Aalipour, M. (2025). Estimating the economic value of waste source separation and its role in household microeconomics (Case study: Talesh city). *Urban Economics, 10*(2), 19-34. doi: 10.22108/ue.2025.144886.1313

Vargas-Terranova, C. A., Rodrigo-Ilarri, J., Rodrigo-Clavero, M. E., & Rozo-Arango, M. A. (2022). M-GRCT: A dynamic circular economy model for optimal waste management design in low-income municipalities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5). https://doi.org/10.3390/ijerph19052681

Xiao, L., Zhang, G., Zhu, Y., & Lin, T. (2017). Promoting public participation in household waste management: A survey-based method and case study in Xiamen City, China. *Journal of Cleaner Production*, 144, 313–322. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.022

Xiao, S., Dong, H., Geng, Y., & Tian, X. (2022). Low carbon potential of urban symbiosis under different municipal solid waste sorting modes based on a system dynamics method. *Resources, Conservation & Recycling*, 179. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106108

Xiao, S., Dong, H., Geng, Y., Tian, X., Liu, C., & Li, H. (2020). Policy impacts on municipal solid waste management in Shanghai: A system dynamics model analysis. *Journal of Cleaner Production*, 262. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121366

Yang, J., Long, R., Chen, H., & Cheng, X. (2021). Willingness to participate in take-out packaging waste recycling: Relationships among effort level, advertising effect, subsidy, and penalty. *Waste Management*, 121, 141–152. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.005

Zare, B., Niazi Koumleh, A., & Bayani, F. (2023). A study of waste management culture in Tehran city. *Economic Sociology and Development* (Persian Journal), 12(1), 47–79. (In Persian)