Urban Economics
Vol. 12, No. 1, (2027)
http://ue.ui.ac.ir
10.22108/ue.2026.147816.1343

اقتصاد شهری
دوره ۱۲، شماره ۱، توالی ۲۱، سال ۱۴۰۶
صص: ۳۴- ۲۱
مقاله پژوهشی

Analysis of Factors Affecting Urban Waste Management with Emphasis on Circular Economy; A Case Study of Tehran City

Mohamadreza Sezavar*[1], Qhaem Shariati [2]
1- .Faculty member of Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2- PhD student in Economics, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract: Municipal waste management is a major challenge for metropolises, necessitating a transition from traditional waste disposal approaches to a circular economy model. Within this framework, increasing recycling rates and reintegrating materials into the economic cycle requires an understanding of the economic, financial, social, and infrastructural factors influencing waste management system performance. This study analyzes the factors affecting municipal waste management with a focus on the circular economy, using Tehran as a case study. It examines the impact of per capita income, waste management costs, the number of recycling centers, the waste management budget, literacy rates, and material processing and recovery capacity on recycling rates. An Autoregressive Distributed Lag (ARDL) approach and an Error Correction Model (ECM) were employed to investigate the short- and long-term relationships between these variables. The results indicate that per capita income, waste management costs, the number of recycling centers, the waste management budget, literacy rates, and material processing and recovery capacity all have a positive and significant impact on recycling rates. Among the variables studied, the positive and significant effect of material processing and recovery capacity highlights the importance of developing infrastructure that enables the sorting, processing, and recovery of materials, as well as their reintegration into the economic cycle. Based on these findings, Tehran's waste management policies should shift from a sole focus on waste collection and disposal toward developing an integrated circular economy chain. This includes source-separated collection, expanding processing and recovery capacities, creating markets for secondary materials, allocating budgets and expenditures strategically, and enhancing public education and economic incentives for citizens.
Key Words: Circular Economy, Education and Encouraging Citizen Participation, Tehran, ARDL Method.
JEL Classification: *Q53,O18,C22*

تحلیل عوامل مؤثر بر مدیریت پسماند شهری با تأکید بر اقتصاد چرخشی؛ مطالعهٔ موردی شهر تهران

محمدرضا سزاوار* [۱]، قائم شریعتی [۲]
۱- استادیار گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۰۵

چکیده

مدیریت پسماند شهری یکی از چالش‌های مهم کلان‌شهرهاست که گذار از رویکرد سنتی دفع پسماند به الگوی اقتصاد چرخشی را ضروری کرده است. در این چارچوب، افزایش نرخ بازیافت و بازگشت مواد به چرخهٔ اقتصادی مستلزم شناخت عوامل اقتصادی، مالی، اجتماعی و زیرساختی مؤثر بر عملکرد نظام مدیریت پسماند است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل عوامل مؤثر بر مدیریت پسماند شهری با تأکید بر اقتصاد چرخشی و با مطالعهٔ موردی شهر تهران انجام شده است. در این پژوهش، اثر درآمد سرانه، هزینه‌های مدیریت پسماند، تعداد مراکز بازیافت، بودجهٔ مدیریت پسماند، نرخ باسوادی و ظرفیت پردازش و بازیابی مواد بر نرخ بازیافت بررسی شده است. برای بررسی روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت متغیرها، از رویکرد خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) و مدل تصحیح خطا (ECM) استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد درآمد سرانه، هزینه‌های مدیریت پسماند، تعداد مراکز بازیافت، بودجهٔ مدیریت پسماند، نرخ باسوادی و ظرفیت پردازش و بازیابی مواد دارای اثر مثبت و معنادار بر نرخ بازیافت هستند. در میان متغیرهای مورد بررسی، اثر مثبت و معنادار ظرفیت پردازش و بازیابی مواد اهمیت توسعهٔ زیرساخت‌هایی را نشان می‌دهد که امکان تفکیک، پردازش، بازیابی و بازگشت مواد به چرخهٔ اقتصادی را فراهم می‌کنند. بر اساس یافته‌ها، سیاست‌های مدیریت پسماند تهران باید از تمرکز صرف بر جمع‌آوری و دفع پسماند به سمت توسعهٔ زنجیرهٔ یکپارچهٔ اقتصاد چرخشی، شامل تفکیک از مبدأ، توسعهٔ ظرفیت پردازش و بازیابی، ایجاد بازار مواد ثانویه، تخصیص هدفمند بودجه و هزینه‌ها و تقویت آموزش و مشوق‌های اقتصادی شهروندان حرکت کند.

واژه‌های کلیدی: اقتصاد چرخشی، آموزش و تشویق به مشارکت شهروندان، تهران، روش ARDL.

طبقه‌بندی JEL: *Q53,O18,C22*

* Corresponding Author: Mohamadreza Sezavar
E-mail address: m_sezavar@sbu.ac.ir

2588-4867/ © 2027 University of Isfahan
This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

مقدمه

در دهه‌های اخیر، مدیریت پسماند شهری به یکی از پیچیده‌ترین و حساس‌ترین چالش‌های پیش روی کلان‌شهرها تبدیل شده است. رشد شتابان جمعیت، گسترش شهرنشینی، توسعهٔ صنعتی و تغییر الگوهای مصرف، حجم تولید زباله را به طرزی بی‌سابقه افزایش داده است. تهران، به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر ایران و یکی از بزرگ‌ترین کلان‌شهرهای جهان، روزانه با تولید انبوهی از زباله مواجه است که مدیریت آن نیازمند رویکردهای نوین، کارآمد و پایدار است. بر اساس آمارهای منتشرشده در سال ۱۴۰۳، سرانهٔ تولید پسماند شهری در تهران حدود ۷٦٤ تا ۸۰۰ گرم به‌ازای هر نفر در روز گزارش شده است (سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران، ۱۴۰۳). این میزان در مقایسه با میانگین جهانی گزارش‌شده توسط بانک جهانی، یعنی حدود ۷۴۰ گرم به‌ازای هر نفر در روز، رقمی نسبتاً بالا محسوب می‌شود (Kaza et al., 2018).

با وجود تلاش‌های انجام‌شده، بخشی عمده از پسماندها به روش‌های سنتی و غیربهداشتی مانند دفن در زمین یا سوزاندن غیراستاندارد دفع می‌شوند. این روش‌ها نه فقط باعث هدررفت منابع ارزشمند می‌شوند، بلکه آلودگی‌های زیست‌محیطی جدی مانند تولید گازهای گلخانه‌ای، آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی را نیز به همراه دارند. از سوی دیگر، هزینه‌های سنگین جمع‌آوری، حمل‌ونقل و دفع پسماندها، فشار مالی زیادی را بر بودجهٔ شهری وارد می‌کند.

در این میان، اقتصاد چرخشی به عنوان یک مدل اقتصادی نوین و پایدار، راهکاری مؤثر برای مقابله با چالش‌های مدیریت پسماند ارائه می‌دهد. اقتصاد چرخشی بر کاهش تولید پسماند، افزایش بازیافت، استفادهٔ مجدد از مواد و تبدیل ضایعات به منابع جدید تأکید دارد. این رویکرد، علاوه بر کاهش فشار بر منابع طبیعی و محیط‌زیست، فرصت‌های اقتصادی جدیدی را نیز ایجاد می‌کند. برای مثال، تبدیل پسماندهای آلی به کمپوست یا بیوگاز، بازیافت مواد قابل استفاده مانند کاغذ، پلاستیک و فلزات، و استفاده از فناوری‌های نوین در فرایندهای بازیافت، می‌تواند ارزش اقتصادی زیادی ایجاد کند و اشتغال‌زایی پایدار را به همراه داشته باشد.

با توجه به اهمیت موضوع و ضرورت حرکت به سوی توسعهٔ پایدار، تحلیل عوامل مؤثر بر مدیریت پسماند شهری با تأکید بر اقتصاد چرخشی، به ویژه در شهر تهران، می‌تواند گامی مؤثر در راستای بهبود وضعیت موجود باشد. این تحلیل ممکن است شامل بررسی سیاست‌های دولتی، نقش فناوری‌های نوین، مشارکت عمومی، زیرساخت‌های موجود و چالش‌های پیش رو باشد. همچنین، شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر اجرای موفق اقتصاد چرخشی در مدیریت پسماند می‌تواند به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا راهکارهایی عملی و کارآمد را برای کاهش تولید پسماند، افزایش بازیافت و استفادهٔ بهینه از منابع ارائه دهند.

در این راستا، مطالعهٔ موردی شهر تهران به عنوان یکی از بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین کلان‌شهرهای جهان، می‌تواند الگوهایی ارزشمند را برای سایر شهرهای ایران و حتی کشورهای منطقه ارائه دهد. با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش می‌تواند به عنوان یک راهنما برای سیاست‌گذاران، مدیران شهری و فعالان محیط‌زیست عمل کند و زمینه‌ساز تغییرات مثبت در مدیریت پسماند شهری باشد.

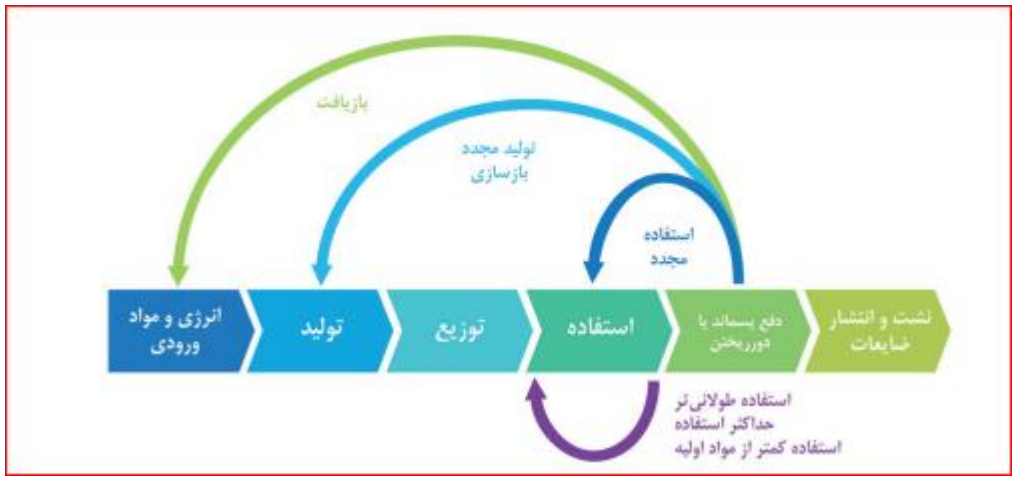
مبانی نظری

تعریف و اهمیت مدیریت پسماند شهری

مدیریت پسماند شهری به مجموعهٔ فعالیت‌ها و فرایندهایی گفته می‌شود که شامل تولید، جمع‌آوری، حمل‌ونقل، پردازش، بازیافت و دفع نهایی پسماندها می‌شود. هدف اصلی این مدیریت، کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی ناشی از تولید و دفع پسماندهاست. در دهه‌های اخیر، با رشد جمعیت و توسعهٔ شهرنشینی، حجم و تنوع پسماندها به طرزی چشمگیر افزایش یافته است. این موضوع، مدیریت پسماند را به یکی از چالش‌های اساسی کلان‌شهرها تبدیل کرده است. آمارها نشان می‌دهد بخشی عمده از پسماندهای تولیدی در تهران قابل بازیافت یا تبدیل به انرژی هستند، اما به دلیل عدم وجود زیرساخت‌های مناسب و فرهنگ‌سازی کافی، بیشتر این پسماندها به روش‌های سنتی و غیربهداشتی دفع می‌شوند.

اقتصاد چرخشی: تعریف و اصول

اقتصاد چرخشی [i] یک مدل اقتصادی نوین است که بر اساس اصول کاهش، استفادهٔ مجدد، بازیافت و تبدیل ضایعات به منابع جدید بنا شده است. این مدل در مقابل اقتصاد خطی سنتی (استخراج، تولید، مصرف، دفع) قرار دارد و هدف آن حفظ ارزش مواد و منابع برای مدت زمان بیشتری است (شکل ۱).



شکل ۱- اقتصاد چرخشی

(منبع: اقتباس و ترجمه از: European Environment Agency, 2020)

اصول اقتصاد چرخشی شامل موارد زیر هستند:

- **کاهش تولید پسماند:** با طراحی محصولات و فرایندهایی که تولید ضایعات را به حداقل می‌رسانند.
- **استفادهٔ مجدد:** با افزایش طول عمر محصولات و اجزای آنها از طریق تعمیر، بازسازی و استفادهٔ مجدد.
- **بازیافت:** با تبدیل مواد زائد به مواد اولیه برای تولید محصولات جدید.
- **تبدیل ضایعات به انرژی:** با استفاده از فناوری‌هایی مانند تولید بیوگاز از پسماندهای آلی.

اقتصاد چرخشی نه فقط به کاهش فشار بر منابع طبیعی کمک می‌کند، بلکه فرصت‌های اقتصادی جدیدی را نیز ایجاد می‌کند. برای مثال، تبدیل پسماندهای آلی به کمپوست یا بیوگاز، بازیافت مواد قابل استفاده مانند کاغذ، پلاستیک و فلزات و استفاده از فناوری‌های نوین در فرایندهای بازیافت، می‌تواند ارزش اقتصادی زیادی ایجاد کند و اشتغال‌زایی پایدار را به همراه داشته باشد.

رابطهٔ اقتصاد چرخشی با مدیریت پسماند شهری

اقتصاد چرخشی می‌تواند نقش کلیدی در بهبود مدیریت پسماند شهری ایفا کند. با انجام اصول اقتصاد چرخشی، می‌توان حجم پسماندهای دفعی را کاهش داد، ارزش اقتصادی مواد بازیافتی را افزایش داد و اثرات زیست‌محیطی منفی را به حداقل رساند.

در شهر تهران، اجرای اقتصاد چرخشی شامل موارد زیر است:

- **جداسازی از مبدأ:** تشویق شهروندان به جداسازی پسماندها در مبدأ تولید، به منظور تسهیل فرایند بازیافت.
- **ایجاد مراکز بازیافت:** توسعهٔ زیرساخت‌های لازم برای بازیافت مواد قابل استفاده مانند کاغذ، پلاستیک، شیشه و فلزات.
- **تبدیل پسماند به انرژی:** استفاده از فناوری‌های نوین برای تبدیل پسماندهای آلی به بیوگاز یا کمپوست.
- **تشویق به مصرف پایدار:** آموزش و فرهنگ‌سازی برای کاهش تولید پسماند و افزایش استفاده از محصولات قابل بازیافت.

عوامل مؤثر بر اجرای اقتصاد چرخشی در مدیریت پسماند

اجرای موفق اقتصاد چرخشی در مدیریت پسماند شهری

نیازمند توجه به عواملی مختلف است که می‌توان آنها را در چند دستهٔ اصلی طبقه‌بندی کرد:

❖ **عوامل سیاستی و قانونی**

- **قوانین و مقررات:** وجود قوانین و مقررات حمایتی برای تشویق به بازیافت و کاهش تولید پسماند.
- **سیاست‌های تشویقی:** ارائهٔ مشوق‌های مالی و اقتصادی برای شرکت‌ها و شهروندانی که در فرایند بازیافت مشارکت می‌کنند.
- **برنامه‌ریزی شهری:** ادغام اصول اقتصاد چرخشی در برنامه‌ریزی‌های شهری و توسعهٔ زیرساخت‌های لازم.

❖ **عوامل فناوری و زیرساختی**

- **فناوری‌های نوین:** استفاده از فناوری‌های پیشرفته در فرایندهای بازیافت و تبدیل پسماند به انرژی.
- **زیرساخت‌های مناسب:** توسعهٔ مراکز بازیافت، کارخانه‌های کمپوست‌سازی و واحدهای تولید بیوگاز.

❖ **عوامل فرهنگی و اجتماعی**

- **آموزش و فرهنگ‌سازی:** افزایش آگاهی عمومی دربارهٔ اهمیت بازیافت و کاهش تولید پسماند.
- **مشارکت عمومی:** تشویق شهروندان به مشارکت فعال در فرایندهای جداسازی و بازیافت پسماند.

❖ **عوامل اقتصادی**

- **هزینه‌ها و منافع:** تحلیل هزینه-فایدهٔ اجرای اقتصاد چرخشی و شناسایی منابع مالی لازم.
- **فرصت‌های اقتصادی:** ایجاد اشتغال و ارزش اقتصادی از طریق بازیافت و تبدیل پسماند به منابع جدید.

پیشینهٔ پژوهش

ازآنجاکه مطالعهٔ حاضر از لحاظ موضوعی جنبهٔ نوآوری دارد، سعی شده است تا نزدیک‌ترین پژوهش‌های مرتبط با مطالعه ارائه شوند.

پژوهش‌های داخلی

میرفلاح و همکاران (۱٤۰٤) ارائهٔ مدل راهبردی طراحی محصول در اقتصاد چرخشی در صنعت لوازم خانگی را بررسی کرده‌اند. در مطالعهٔ یادشده، با استفاده از یک رویکرد آمیخته (کیفی-کمّی)، ابتدا در سه مرحلهٔ کدگذاری باز، محوری و انتخابی، مدل طراحی شده و سپس، با استفاده از رویکرد نگاشت شناختی روابط بین عوامل بررسی شده است. نتایج نشان داده است کاهش ضایعات دارای بیشترین نزدیکی است. پس از آن، کاهش ظرفیت زیست‌محیطی قرار دارد. ذی‌نفعان دارای بیشترین سطح بینابینی هستند و پس از آن، محدودیت منابع، منابع غیرمادی و فعالیت‌های کاری قرار دارند. ارائهٔ ارزش مشترک در شبکهٔ ارزش و اثرات زیست‌محیطی دارای بیشترین مرکزیت هستند. به عبارت دیگر، در شبکهٔ طراحی‌شده، بیشترین پیوندها از سوی سایر موارد به این عوامل منتهی می‌شود. پس از آنها، الزامات ورودی و ارتباط بیشتر با مشتری دارای بیشترین درجهٔ مرکزیت نشان داده می‌شوند.

ذاکری و روشنفکر (۱٤۰٤) موضوع اقتصاد چرخشی در ایران و انگیزه‌های حضور افراد در بازار خریدوفروش کالاهای دست‌دوم را بررسی کرده‌اند. یکی از سیاست‌های مهم در اقتصاد چرخشی گسترش بازار مبادلهٔ کالاهای دست‌دوم برای طولانی‌شدن چرخهٔ حیات کالاها و کاهش مصرف منابع کرهٔ زمین است. از نظر تجربی، پرسش این مقاله آن بوده است که بازار خریدوفروش کالاهای دست‌دوم در جامعهٔ ایران تا چه حد گسترده است و چه انگیزه‌هایی محرک حضور افراد در این بازار هستند؟ پاسخ‌دهی به پرسش‌های تجربی پژوهش به روش پیمایش انجام شده است، با نمونه‌ای ۱۲۰۰ نفری در شهر تهران. نتایج پژوهش نشان می‌دهد بخشی بزرگ از جامعه در بازار خریدوفروش کالاهای دست‌دوم حضور ندارند. محرک اصلی بخش‌هایی از جامعه که در این بازار حاضر هستند هم انگیزه‌های اقتصادی و کارکردی است؛ بنابراین، در این حوزه شاهد شکل‌گیری رفتارهای پایدار محیط‌زیستی نیستیم.

ترابی و همکاران (۱٤۰۳) شناسایی و طراحی مدل نوآوری صنعتی بر اساس اقتصاد چرخشی با روش تلفیقی فراترکیب و تکنیک دلفی فازی را بررسی کرده‌اند. پژوهش یادشده از طریق ترکیب پژوهش‌های پیشین با هدف ارائهٔ تصویری جامع از طرح‌ریزی یک الگو در خصوص طراحی ابعاد و مؤلفه‌های فرایند

نوآوری صنعتی بر اساس اقتصاد چرخشی انجام شده است. در این مقاله، ابتدا از روش فراترکیب برای بررسی ابعاد، مؤلفه‌ها و شاخص‌های کلیدی نوآوری صنعتی و اقتصاد چرخشی در پایگاه‌های علمی مختلف و متنوع برای یک جمع‌بندی جامع از ابعاد و مراحل لازم استفاده شد و سپس، در دو مرحله، با نظر خبرگان و مطابق الگوریتم تکنیک دلفی فازی به منظور بازطراحی ، غربالگری و تأیید آنها اعمال شد. ۲۱۰ مقاله به صورت هدفمند بر اساس معیارهای ارزیابی به روش CASP بررسی شدند و در نهایت، ۵۸ مقاله برای پژوهش انتخاب شدند. خروجی یافته‌های پژوهش که از روش فراترکیب در قالب یک پرسشنامهٔ جامع حاصل شده است، پس از غربالگری به روش دلفی فازی در دو مرحله، تأیید شده است تا به پرسش اصلی پژوهش، یعنی چرخشی‌سازی فرایند نوآوری صنعتی، در ٤ مرحله و ۱۲ بُعد مبتنی بر اقتصاد چرخشی به عنوان چارچوبی مؤثر برای گسترش نتایج هم‌سو با اهداف توسعهٔ پایدار پاسخ دهد.

شریفیان و همکاران (۱٤۰۳) چالش‌های مؤثر بر اجرای اقتصاد چرخشی و صنعت در مدیریت زنجیرهٔ تأمین را شناسایی کرده‌اند. در همین راستا، با تحلیل محتوای کیفی، چالش‌های مؤثر در اجرای اقتصاد چرخشی و صنعت در مدیریت زنجیرهٔ تأمین شناسایی و در چهار بُعد فرهنگی–آموزشی، مالی–قانونی، زیرساختی–فناورانه، سازمانی–راهبردی دسته‌بندی شده‌اند. سپس، با نقشهٔ شناختی فازی شهودی و نرم‌افزارهای FCMaper و Mental Modelerبرای چالش‌های «عدم وجود سیستم ردیابی و دسترسی به مواد بازیافتی»، «عدم یکپارچه‌سازی زنجیرهٔ ارزش درون و برون‌سازمانی» و «عدم ارتباط مؤثر با شرکای لجستیک و تأمین‌کنندگان» که دارای بیشترین اثرپذیری بوده‌اند، سناریوی رو به عقب طراحی شده است. در گام بعد نیز، برای چالش‌های«عدم شناخت صنعت و اقتصاد چرخشی و پیامدهایش»، «عدم آموزش مناسب»، و «عدم وجود راهبرد مناسب با صنعت و اقتصاد چرخشی» که دارای بیشترین تأثیرگذاری بوده‌اند، سناریوهای رو به جلو طراحی شده‌اند.

کلانتری و همکاران (۱۳۹۵) ارتباط بین ارزش‌های محیط‌زیستی و رفتار پسماند خانواده را بررسی کرده‌اند. برای تبیین این موضوع، از تعاریف ارزشی استفاده شده است. روش پژوهش پیمایشی بوده و از ابزار پرسشنامه برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است. ٤۰۰ پرسشنامه با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای در سطح خانوارهای تهران تکمیل شده‌اند. پاسخ‌ها از طریق نرم‌افزار SPSS پردازش و با استفاده از آماره‌های متناسب با سطح سنجش متغیرها تحلیل شده‌اند. نتایج پژوهش نشان داده است شهروندان ارزش‌های محیط‌زیستی تقریباً بالایی از خود نشان دادند (میانگین ٤/۵۸ از ۵). علاوه بر این، شهروندان تهرانی بازیافت پسماند خانگی خود را در سطحی بالا ابراز داشته‌اند (میانگین ۳/۱۰۸ از ٤). در نهایت، بین دو متغیر ارزش‌های محیط‌زیستی و رفتار پسماند رابطهٔ مثبت بسیار ضعیف وجود داشته است؛ به گونه‌ای‌که فقط ۱/۵ درصد از بازیافت پسماند از طریق ارزش‌های محیط‌زیستی تبیین شده است.

پژوهش‌های خارجی

شوگل[ii] و همکاران (۲۰۲٤) موانع طراحی محصول چرخشی و پایداری را بررسی کرده‌اند. اهمیت اقتصاد چرخشی به عنوان جایگزینی برای اقتصاد خطی رایج امروزی، هم در صنعت و هم در پژوهش‌ها، به رسمیت شناخته شده است. طراحان محصول با تطبیق ویژگی‌های محصولات فیزیکی در مراحل اولیهٔ فرایند توسعهٔ محصول، تأثیری عمده بر این گذار دارند. با این حال، بیشتر محصولات از یک رویکرد خطی پیروی می‌کنند و به‌هیچ‌وجه چرخشی نیستند. هدف مقالهٔ یادشده شناسایی چالش‌هایی است که طراحان محصول هنگام طراحی محصولات چرخشی با آنها مواجه هستند. با تکیه بر درکی پیشرفته از اصطلاحات مرتبط در طراحی محصول چرخشی، یک بررسی اکتشافی از ادبیات انجام شده است. نتایج به‌دست‌آمده به دست‌یابی به یک مرور کلی و درک چالش‌هایی که باید مورد توجه قرار گیرند، کمک می‌کند؛ بنابراین، جهت‌گیری‌های پژوهشی بیشتری برای پشتیبانی از گذار از محصولات خطی به چرخشی در درازمدت استخراج شده است.

چن[iii] و همکاران (۲۰۲۰) موانع کلیدی اجرای اقتصاد مدور در بخش نساجی چین را با استفاده از روش دیمتل بررسی کرده‌اند. هم‌زمان با رشد مفهوم اقتصاد چرخشی در سراسر جهان، مدل‌های کسب‌وکار چرخشی (CBM) هم در بخش کسب‌وکار و هم در دانشگاه توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند. با این حال، ادبیات موجود دربارهٔ CBM پراکنده و چندپاره است.

مطالعهٔ یادشده یک چارچوب یکپارچه در سطح بنگاه برای پیونددادن گونه‌شناسی‌های CBM، فرایند گذار اقتصاد چرخشی و ابزارهای مرتبط برای توسعهٔ CBM ارائه می‌دهد و جایگاه و نقش این ابزارها را در این فرایند روشن می‌کند. در پاسخ به مسئلهٔ چندپارگی، نتایج مطالعهٔ بالا در سه زیرموضوع ارائه شده است: (الف) گونه‌شناسی‌ها و الگوهای CBM، (ب) دستورالعمل‌های گذار، و (پ) ابزارهای تحلیلی اصلی برای پژوهش‌های CBM. نقش‌ها و کارکردهای گونه‌شناسی‌ها و ابزارهای CBM در مراحل مختلف فرایند گذار ادغام و چالش‌ها و کاستی‌های پژوهش‌های CBM در مراحل مختلف شناسایی شدند.

الحسنی[iv] و همکاران (۲۰۲۰) مهم‌ترین چالش‌های اجرای اقتصاد چرخشی را توجه محدود به محیط‌زیست، عدم حضور متخصصان واجد شرایط، کمبود بودجهٔ پژوهش‌ها، نوآوری و سرمایه‌گذاری و عدم علاقهٔ مشتری به استفادهٔ مجدد محصول بیان کرده‌اند. هدف مطالعهٔ یادشده بررسی چنین چالش‌هایی در چارچوب عمان بود و یک مطالعهٔ اکتشافی متشکل از ده مصاحبه و ۸۰ پاسخ نظرسنجی انجام شد. نتایج تحلیل عاملی نشان داد چالش‌های حیاتی اقتصاد چرخشی در نهایت با موانع دولتی مانند فقدان چشم‌انداز روشن و قوانین حمایتی از اقتصاد چرخشی آغاز می‌شوند. این امر با کمبود بودجهٔ دولتی برای پژوهش، نوآوری و سرمایه‌گذاری و همچنین موانع فنی مانند فقدان متخصصان واجد شرایط در این زمینه دنبال شده است.

نوآوری پژوهش

با توجه به مبانی نظری و پیشینه‌های پژوهش در قسمت‌های قبلی مطالعه، می‌توان بیان کرد بسیاری از پژوهش‌های پیشین در زمینهٔ مدیریت پسماند، بر روش‌های سنتی مانند دفن بهداشتی یا سوزاندن تمرکز دارند، اما در این پژوهش، اقتصاد چرخشی به عنوان یک چارچوب نوین و پایدار برای مدیریت پسماند شهری مورد تأکید قرار می‌گیرد. اقتصاد چرخشی نه فقط به کاهش پسماند و بازیافت توجه دارد، بلکه بر ایجاد ارزش اقتصادی از ضایعات، تبدیل پسماند به انرژی و طراحی سیستم‌های بسته[v] تأکید می‌کند. این رویکرد، پژوهش را از مطالعات قبلی متمایز می‌کند. همچنین، عوامل مؤثر بر مدیریت پسماند شهری از دیدگاه‌های مختلف (سیاسی، فناوری، فرهنگی، اقتصادی) و با تأکید بر اقتصاد چرخشی تحلیل می‌شوند. بسیاری از مطالعات قبلی فقط به یک یا دو بُعد (برای مثال، فناوری یا سیاست) توجه داشته‌اند، اما در این پژوهش، تلاش می‌شود تا یک مدل جامع و یکپارچه ارائه شود که همهٔ ابعاد مؤثر را پوشش دهد. علاوه بر آن، پژوهش حاضر تلاش می‌کند تا یک مدل مفهومی بومی برای اجرای اقتصاد چرخشی در مدیریت پسماند تهران ارائه دهد. این مدل بر اساس شرایط خاص شهر تهران طراحی می‌شود و می‌تواند به عنوان یک الگو برای سایر شهرهای ایران نیز استفاده شود.

روش پژوهش

در این مطالعه، با توجه به حجم نمونهٔ مورد مطالعه و به منظور برآوردهای نسبتاً بدون تورش، از الگوی توزیع وقفه‌ای خودرگرسیون (ARDL) استفاده می‌شود. در یک الگوی توزیع وقفه‌ای، وقتی وقفه‌های متغیر وابسته به جمع متغیرهای توضیح‌دهنده افزوده می‌شود، یک الگوی توزیع وقفه‌ای خودرگرسیون شکل می‌گیرد. ساده‌ترین شکل یک الگوی توزیع وقفه‌ای خود رگرسیون دارای ساختار زیر است. هر یک از متغیرها دارای یک وقفهٔ زمانی هستند:

$$y_t=\alpha_0+\alpha_1 y_{t-1}+\gamma_0 x_t+\gamma_1 x_{t-1}+\varepsilon_t$$

این الگو کمک می‌کند تا برآوردی نسبتاً بدون تورش را از ضرایب رابطهٔ تعادلی بلندمدت $y_t= \alpha + \beta\, x_t+u_t$ به دست آوریم. الگوی ARDL یکی از عمده‌ترین ابزارها در دست پژوهشگران اقتصادی برای برآورد رگرسیون‌های تک‌معادله‌ای پویاست. اگرچه چنین الگویی از مدت‌ها پیش در مطالعات اقتصادسنجی استفاده می‌شد، به‌تازگی به دلیل آنکه به عنوان مبنایی برای آزمون روابط هم‌جمعی و وجود یک رابطهٔ تعادلی بلندمدت بین متغیرهای الگو استفاده شده، از شهرت زیاد برخوردار شده است. بیان این نکته لازم است که برای وجود یک رابطهٔ هم‌جمعی بین متغیرهای الگوی توزیع وقفه‌ای خودرگرسیون، لزومی ندارد که همهٔ متغیرهای دخیل در این الگو جمعی از مرتبهٔ یک، و یا به عبارت دیگر، $I(1)$ باشند. پسران و شین[vi] (۱۹۹۹) نشان داده‌اند حتی اگر

برخی از متغیرها $I(0)$ و ترکیبی از متغیرهای $I(0)$ و $I(1)$ وجود داشته باشند، الگوی ARDL این حسن را دارد که با برآورد آن بتوان به یک رابطهٔ تعادلی بلندمدت یا هم‌جمعی دست یافت، اما اگر بعضی از متغیرها $I(2)$ و یا بیشتر از $I(2)$ باشند، چنین امری امکان‌پذیر نیست. در عین حال، پسران و شین (۱۹۹۹) بیان می‌کنند برای برآورد رابطهٔ تعادلی بلندمدت به کمک الگوی ARDL نیازی نیست که همهٔ متغیرها از تعداد وقفه‌های مساوی برخوردار باشند. هر متغیر می‌تواند تعداد وقفه‌های بهینهٔ خود را داشته باشد.

معرفی الگوی تصحیح خطا (ECM)

چارچوب الگوی تصحیح خطا به گونه‌ای است که نوسانات کوتاه‌مدت متغیرهای دخیل در یک معادلهٔ رگرسیونی را به مقادیر تعادلی بلندمدت آنها ارتباط می‌دهد. وقتی دو متغیر x_t و y_t جمعی از مرتبهٔ یک و هم‌جمع هستند، یک رابطهٔ تعادلی بلندمدت بین آنها برقرار است. البته، ممکن است به دلیل تکانه‌های واردشده در کوتاه‌مدت، عدم تعادل‌هایی وجود داشته باشند. در این صورت، می‌توان جملهٔ خطای یک رابطهٔ تعادلی مانند رابطهٔ زیر را به عنوان خطای مربوط به عدم تعادل یا انحراف از تعادل تلقی کرد:

$$y_t = \beta x_t + u_t \quad \rightarrow \quad u_t = y_t - \beta x_t$$

اکنون، می‌توان خطای عدم تعادل u_t را برای پیونددادن رفتار کوتاه مدت y_t به مقدار تعادلی بلندمدت آن استفاده و الگوی زیر را تصریح کرد:

$$\Delta y_t = a_0 + \alpha_1 \Delta x_t + \gamma u_{t-1} + \varepsilon_t$$

که در آن، u_{t-1} جملهٔ خطای مربوط به عدم تعادل ۵ با یک وقفهٔ زمانی است. چنین الگویی که در آن تغییرات در y_t به انحراف از تعادل دورهٔ قبل ارتباط داده می‌شود، الگوی تصحیح خطا (ECM) نامیده می‌شود. وقتی x_t و y_t هر دو جمعی از مرتبهٔ یک و هم‌جمع باشند، u_t (جملهٔ خطای رابطهٔ تعادلی بلندمدت) جمعی از مرتبهٔ صفر و در نتیجه، پایا خواهد بود. از سوی دیگر، Δx_t و Δy_t نیز جمعی از مرتبهٔ صفر و پایا هستند. در نتیجه، متغیرهای دخیل در الگوی ECM همگی جمعی از مرتبهٔ صفر و پایا هستند. از این رو، می‌توان ضرایب این الگو را بدون هراس از به دست آوردن یک رگرسیون کاذب به روش OLS برآورد کرد و از آماره‌های t و F در آزمون الگو بهره گرفت. الگوی تصحیح خطای شرطی برای یک الگوی $ARDL$ ساده با دو متغیر x و y به صورت زیر است:

$$\Delta y_t = \theta_0 + \theta_1 Trend + \alpha y_{t-1} + \beta x_{t-1} + \sum_{i=1}^{r_1} v_i \Delta y_{t-i} + \sum_{i=0}^{r_2} \varphi_i \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t$$

چنانچه در الگوی تصحیح خطای بالا ضریب $a \neq 0$ و ضریب $\beta = 0$ باشد، متغیر y_t روند-پایا[vii] خواهد بود. در نتیجه، متغیر Δy_t به وقفه‌های خودش وابسته خواهد بود. اما اگر $\alpha = 0$ و $\beta \neq 0$ باشد، Δy_t در الگوی تصحیح خطای شرطی به وقفهٔ x_t بستگی خواهد داشت؛ بنابراین، برای آزمون عدم وجود اثر سطح متغیرها بر Δy_t در این الگوی تصحیح خطای شرطی[viii] و یا به عبارت بهتر، عدم وجود ارتباط در سطح متغیرهای x_t و y_t که به منزلهٔ عدم وجود رابطهٔ تعادلی بلندمدت است، تأکید بر آزمون توأم بر $a = 0$ و $\beta = 0$ گذاشته شده است.

$$\begin{cases} H_0: \alpha = \beta = 0 \\ H_1: \alpha \neq 0, \beta \neq 0 \end{cases}$$

آزمون بالا یک بار به صورت مقید بر اساس فرضیهٔ صفر و یک بار به صورت غیرمقید با استفاده از آمارهٔ آزمون F والد[ix] انجام می‌شود. چه متغیرها I(0) باشند یا I(1) ، توزیع F حاصل غیراستاندارد است. پسران و همکاران (۲۰۰۱) مقادیر بحرانی F غیراستاندارد را برای حالتی که همهٔ متغیرها I(0) هستند و همچنین حالتی که همهٔ متغیرها I(1) هستند، ارائه کرده‌اند. به این ترتیب، دو کمیت بحرانی وجود دارند. پیشنهاد آنان این است که وقتی تعدادی از متغیرها I(0) و تعدادی I(1) هستند، این دو مقدار بحرانی به عنوان کمیت‌های کرانه‌ای یک نوار بحرانی تلقی می‌شوند و به شیوهٔ زیر تصمیم‌گیری می‌شود:

اگر کمیت F آمارهٔ آزمون والد بالاتر از کرانهٔ بالای نوار بحرانی قرار گیرد، وجود رابطهٔ تعادلی بلندمدت در سطح متغیرها را می‌توان پذیرفت. اگر کمیت F آمارهٔ آزمون والد بین دو کرانهٔ بالا و پایین نوار بحرانی قرار گیرد، نتیجه‌گیری خاصی امکان‌پذیر نیست. اگر کمیت F آمارهٔ آزمون والد پایین‌تر از کرانهٔ پایین نوار بحرانی قرار گیرد، وجود یک رابطهٔ تعادلی بلندمدت در سطح متغیرها را نمی‌توان پذیرفت.

تصریح مدل و معرفی متغیرهای پژوهش

در این پژوهش، به منظور بررسی عوامل مؤثر بر مدیریت پسماند شهری با تأکید بر اقتصاد چرخشی، نرخ بازیافت به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای درآمد سرانه، هزینه‌های مدیریت پسماند، تعداد مراکز بازیافت، بودجهٔ مدیریت پسماند، نرخ باسوادی و ظرفیت پردازش و بازیابی مواد به عنوان متغیرهای توضیحی در نظر گرفته شده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱- متغیرهای مدل

متغیر	نوع	منبع
نرخ بازیافت پسماند شهری	وابسته	گزارش‌های مدیریت پسماند شهرداری
درآمد سرانهٔ خانوار	مستقل	مرکز آمار ایران
هزینه‌های مدیریت پسماند	مستقل	گزارش‌های بودجه‌ای شهرداری
تعداد مراکز بازیافت فعال	مستقل	گزارش‌های شهرداری
بودجهٔ اختصاص‌یافته به مدیریت پسماند	مستقل	گزارش‌های بودجه‌ای دولت و شهرداری
نرخ باسوادی	مستقل	مرکز آمار ایران
ظرفیت پردازش و بازیابی مواد	مستقل	گزارش‌های شهرداری

(منبع: نتایج پژوهش)

تعریف عملیاتی و نحوهٔ محاسبهٔ هر یک از متغیرها به شرح زیر است:

۱. نرخ بازیافت[x]

نرخ بازیافت متغیر وابستهٔ پژوهش است و بیانگر سهم پسماند شهری بازیافت‌شده از کل پسماند تولیدشده در شهر تهران است. این شاخص به صورت درصد محاسبه می‌شود.

۲. درآمد سرانه [xi]

درآمد سرانه به عنوان شاخصی از وضعیت اقتصادی جامعه استفاده می‌شود و از تقسیم درآمد یا تولید ناخالص داخلی واقعی بر جمعیت به دست می‌آید.

۳. هزینه‌های مدیریت پسماند [xii]

این متغیر بیانگر هزینه‌های صرف‌شده برای مدیریت پسماند شهری در تهران در هر سال است و شامل هزینه‌های مرتبط با جمع‌آوری، حمل‌ونقل، پردازش، تفکیک، بازیافت و دفع پسماند است.

٤. تعداد مراکز بازیافت [xiii]

این متغیر تعداد مراکز فعال مرتبط با جمع‌آوری، تفکیک یا بازیافت پسماند شهری در تهران در سال t را نشان می‌دهد.

۵. بودجهٔ مدیریت پسماند[xiv]

بودجهٔ مدیریت پسماند بیانگر منابع مالی اختصاص‌یافته توسط شهرداری تهران به حوزهٔ مدیریت پسماند در هر سال است.

٦. نرخ باسوادی[xv]

نرخ باسوادی به عنوان شاخصی از سطح آموزش و آگاهی عمومی جامعه در نظر گرفته می‌شود و از نسبت جمعیت باسواد به جمعیت واجد شرایط سنی برای سنجش سواد به دست می‌آید.

۷. ظرفیت پردازش و بازیابی مواد [xvi]

این متغیر به عنوان شاخص اصلی مرتبط با اقتصاد چرخشی وارد مدل شده است و بیانگر ظرفیت سالانهٔ تأسیسات پردازش، تفکیک و بازیابی مواد از پسماند شهری تهران است. این متغیر از نسبت مجموع ظرفیت اسمی سالانهٔ مراکز پردازش، تفکیک، بازیابی و بازیافت به کل پسماند شهری تولید شده که به صورت درصد به دست آمده است.

بر اساس مبانی نظری و شرایط اقتصاد ایران رابطه به صورت معادلهٔ (۱) تصریح شده است:

$$RecycleRatet=\beta0+\beta1Incomet+\beta2Costt+\beta3 Facilitiest+\beta4Budgett+\beta5Literacyt+\beta6 Campaignst+ \beta7\ RPCt +\epsilon t \quad (۱)$$

نتایج پژوهش

آزمون‌های تشخیصی

در ابتدا و قبل از برآورد مدل، به منظور جلوگیری از ایجاد رگرسیون کاذب در مدل برای تعیین ریشهٔ واحد در متغیرهای پژوهش، لازم است آزمون مانایی بررسی شود. در این راستا، از آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته (ADF) استفاده و نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

بر اساس نتایج آزمون ریشهٔ واحد، همهٔ متغیرها به‌جز ظرفیت پردازش و بازیابی مواد و همچنین تعداد مراکز بازیافت فعال با یک بار تفاضل‌گیری مانا شدند و متغیرهای ظرفیت پردازش و

بازیابی مواد و تعداد مراکز بازیافت فعال نیز در سطح مانا هستند. نتایج حاصل از برآورد الگوی پویای کوتاه‌مدت در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۲- آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته

نماد	متغیر	سطح	تفاضل ۱	مانایی
REC	نرخ بازیافت پسماند شهری	-	-٤/٣٦ (٠/٠٠١)	I(1)
IN	درآمد سرانهٔ خانوار	-	-٤/٤٢ (٠/٠٠١)	I(1)
CO	هزینه‌های مدیریت پسماند	-	-٣/٧٤ (٠/٠٠٨)	I(1)
FA	تعداد مراکز بازیافت فعال	-٤/٧٩ (٠/٠٠٠)	-	I(٠)
BU	بودجهٔ اختصاص‌یافته به مدیریت پسماند	-	-٥/٠٥ (٠/٠٠٠)	I(1)
LI	نرخ باسوادی	-	-٥/٨٣ (٠/٠٠٠)	I(1)
RPC	ظرفیت پردازش و بازیابی مواد	-١١/٠٦ (٠/٠٠٠)	-	I(0)

(منبع: نتایج پژوهش)

جدول ۳- ضرایب مدل کوتاه مدت

متغیر	ضریب	آمارهٔ t	احتمال
Rec(-1)	٠/١٨٥	٣/٠٧	٠/٠٠
IN	٠/١٥٨	٠/٦٢	٠/٥٣
IN(-1)	٠/٤٥٨	٤/١٤	٠/٠٠
CO	٠/٠١٢	٤/٢٥	٠/٠١
CO(-1)	٠/٠٨٤	٨/١٤	٠/٠٠
CO(-2)	-٠/٠٦١	-٢/٣٩	٠/٠١
FA	٠/٠٢٩	٠/٦٠	٠/٤٨
FA(-1)	-٠/٠٩٩	-٢/٥١	٠/٠٠
BU	٠/٠٨٨	٢/١٢	٠/٠١
LI	٠/٠٠٢	١/١٤	٠/١١
LI(-١)	-٠/١١٥	-١/٣٦	٠/٢١
RPC	٠/٢٣٥	٤/٣٦	٠/٠١
RPC(-١)	٠/٣٦٥	٢/١٨	٠/٠٤
C	٠/٠١٩	٠/٦٦	٠/٣٨

(منبع: نتایج پژوهش)

پیش از برآورد نتایج بلندمدت، باید نسبت به وجود روابط بلندمدت میان متغیرها مطمئن شد. برای این منظور، از آزمون باند استفاده می‌شود و نتایج آن در جدول (٤) ارائه شده است.

جدول ٤- آزمون باند مدل

سطح معناداری	۹۵ درصد		۹۰ درصد	
کران بالا و پایین	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
مقادیر بحرانی	٣/٥٦	٣/١٨	٢/٥٦	٣/٢٦
آمارهٔ F	٥/٩٢			
N=٣٠، K=٤ K=4				

(منبع: یافته‌های پژوهش)

از آنجا که مقدار آمارهٔ آزمون باند از کران بالای آزمون در سطح اطمینان ۹۵ درصد بزرگ‌تر است، فرضیهٔ صفر آزمون مبنی بر عدم وجود رابطهٔ بلندمدت باثبات رد می‌شود و می‌توان روابط بلندمدت را برآورد کرد. نتایج برآورد ضرایب بلندمدت در جدول (٥) ارائه شده است.

جدول ٥- ضرایب بلندمدت آزمون

متغیر	ضریب	آمارهٔ t	احتمال
IN	٠/٠٣١	٤/١٥	٠/٠١٦
CO	٠/٠١٦	٢/٨٩	٠/٠١٧
FA	٠/٠٠٤	٢/٦١	٠/٠٢٩
BU	٠/٠١٠	٣/١٨	٠/٠١٩
LI	٠/٠١٥	٢/١٨	٠/٠٣١
RPC	٠/٠٤١	٤/٢٥	٠/٠١٥
C	٠/٠٣٢	١/١١	٠/٢٨

(منبع: یافته‌های پژوهش)

در ادامه، لازم است تا به بررسی الگوی تصحیح خطا (ECM) اقدام شود. دلیل استفاده از الگوی تصحیح خطا آن است که نوسانات کوتاه‌مدت متغیرها را به مقادیر بلندمدتشان ارتباط می‌دهد. به همین منظور، پسماندهای حاصل از رابطهٔ هم‌جمعی به عنوان یک متغیر مستقل و با یک وقفهٔ توضیحی وارد الگو می‌شود.

جدول ٦- نتایج ECM

متغیر	ضریب	آمارهٔ t	احتمال
ECM(-1)	-۰/۲۳	-٤/٤٢	۰/۰۰

(منبع: یافته‌های پژوهش)

همان‌طور که در جدول (٦) مشاهده می‌شود، ضریب ecm برابر ۰/۲۳- و از نظر آماری نیز معنادار است. این ضریب سرعت تعدیل کوتاه‌مدت به سمت تعادل بلندمدت را به نمایش می‌گذارد؛ به این معنا که در هر دوره به میزان ۲۳ درصد از عدم تعادل در دورهٔ بعد تصحیح و به سمت تعادل بلندمدت همگرا می‌شود.

در نهایت، به منظور بررسی صحت و اعتبار برآورد ضرایب تابع و نیز حصول اطمینان از وجود فروض کلاسیک، آزمون‌های مربوط انجام شده‌اند. نتایج حاصل از آزمون‌های یادشده و مقادیر احتمال این آماره‌ها در جدول (۷) آمده است.

جدول ۷- نتایج بررسی فروض کلاسیک

احتمال	آمارهٔ F	فروض کلاسیک
۰/۱۲	۲/۳۱ (جارک-برا)	نرمال‌بودن
۰/٥٤	۰/۲۰٥	خودهمبستگی سریالی
۰/٦۱	۰/۱۰٦	ناهمسانی واریانس
۰/٤٦	۰/۳۰۲	شکل تبعی

(منبع: یافته‌های پژوهش)

نتایج حاصل از جدول (۷) حاکی از آن است که مدل مدنظر از نظر آزمون‌های تشخیصی مشکلی ندارد و فروض کلاسیک برقرار هستند.

نکتهٔ حائز اهمیت ضریب مثبت و معنادار ظرفیت پردازش و بازیابی مواد است. این نتیجه نشان می‌دهد افزایش ظرفیت زیرساختی پردازش، تفکیک و بازیابی مواد با افزایش نرخ بازیافت همراه است. به بیان اقتصادی، توسعهٔ ظرفیت‌های پردازش و بازیابی می‌تواند محدودیت زیرساختی موجود در مسیر تبدیل پسماند به مواد قابل استفادهٔ مجدد را کاهش دهد و زمینهٔ بازگشت بیشتر مواد به چرخهٔ اقتصادی را فراهم کند.

اهمیت این متغیر برای پژوهش حاضر از آن نظر است که RPC صرفاً یک شاخص مدیریت پسماند نیست، بلکه یکی از حلقه‌های زیرساختی شکل‌دهندهٔ اقتصاد چرخشی محسوب می‌شود. در واقع، افزایش ظرفیت پردازش و بازیابی امکان انتقال پسماند از مسیر «دفع نهایی» به مسیر «تفکیک، بازیابی، بازیافت و بازگشت مواد به چرخهٔ تولید» را افزایش می‌دهد؛ بنابراین، یافتهٔ مربوط به RPC را می‌توان به عنوان یکی از شواهد اصلی پژوهش در حمایت از نقش زیرساخت‌های بازیابی مواد در گذار از مدیریت سنتی پسماند به الگوی اقتصاد چرخشی تفسیر کرد.

نتیجه‌گیری و ارائهٔ پیشنهادهای سیاستی

مدیریت پسماند شهری در کلان‌شهر تهران، علاوه بر یک مسئلهٔ زیست‌محیطی، دارای ابعاد اقتصادی و اجتماعی گسترده‌ای است. در این پژوهش، عوامل مؤثر بر نرخ بازیافت شهری با تأکید بر رویکرد اقتصاد چرخشی بررسی شدند. نتایج نشان داد متغیرهای اقتصادی، مالی، انسانی و زیرساختی، نقشی متفاوت در توضیح تغییرات نرخ بازیافت دارند. همچنین، ورود متغیر ظرفیت پردازش و بازیابی مواد به مدل امکان بررسی نقش زیرساخت‌های مرتبط با اقتصاد چرخشی را فراهم کرد.

نتایج نشان داد درآمد سرانه، هزینه‌های مدیریت پسماند،تعداد مراکز بازیافت، بودجهٔ مدیریت پسماند، نرخ باسوادی و ظرفیت پردازش و بازیابی مواد دارای اثر مثبت و معنادار بر نرخ بازیافت هستند.

اثر مثبت درآمد سرانه نشان می‌دهد شرایط اقتصادی خانوارها ممکن است با افزایش مشارکت در فعالیت‌های بازیافت همراه باشد؛ بنابراین، سیاست‌های تشویقی اقتصادی، پرداخت پاداش در قبال تحویل مواد قابل بازیافت و اطلاع‌رسانی دربارهٔ منافع اقتصادی بازیافت می‌تواند در کنار سیاست‌های فرهنگی مورد توجه قرار گیرد.

اثر مثبت و معنادار هزینه‌های مدیریت پسماند نیز بر اهمیت منابع مالی در توسعهٔ نظام بازیافت تأکید دارد. با این حال، افزایش هزینه به‌تنهایی هدف سیاستی محسوب نمی‌شود، بلکه نحوهٔ تخصیص منابع اهمیت اساسی دارد. منابع باید به سمت فعالیت‌هایی هدایت شوند که مستقیماً ظرفیت تفکیک، پردازش، بازیابی و بازیافت مواد را افزایش می‌دهند.

همچنین، اثر مثبت و معنادار بودجهٔ مدیریت پسماند نشان

می‌دهد سیاست بودجه‌ای شهرداری می‌تواند یکی از ابزارهای مهم برای توسعهٔ بازیافت باشد. از این نظر، پیشنهاد می‌شود سهمی مشخص از بودجهٔ مدیریت پسماند به توسعهٔ زیرساخت‌های اقتصاد چرخشی، نوسازی تجهیزات پردازش و تفکیک، توسعهٔ فناوری‌های بازیابی مواد و حمایت از مشارکت شهروندان اختصاص یابد. در این زمینه، استقرار نظام پایش عملکرد و تخصیص بودجه بر مبنای شاخص‌های قابل اندازه‌گیری می‌تواند به افزایش اثربخشی هزینه‌ها کمک کند.

اثر مثبت و معنادار نرخ باسوادی نیز اهمیت سرمایهٔ انسانی و آموزش را نشان می‌دهد. بر این اساس، برنامه‌های آموزشی نباید صرفاً بر اطلاع‌رسانی عمومی دربارهٔ مضرات پسماند متمرکز باشند، بلکه لازم است نحوهٔ صحیح تفکیک از مبدأ، منافع اقتصادی بازیافت، ارزش مواد ثانویه و نقش شهروندان در زنجیرهٔ اقتصاد چرخشی را نیز آموزش دهند. مدارس، دانشگاه‌ها، رسانه‌ها و شبکه‌های اجتماعی می‌توانند در این زمینه نقش مکمل ایفا کنند.

مهم‌ترین یافته از نظر تأکید پژوهش بر اقتصاد چرخشی اثر مثبت و معنادار ظرفیت پردازش و بازیابی مواد (RPC) است. این نتیجه نشان می‌دهد توسعهٔ ظرفیت‌های زیرساختی برای تفکیک، پردازش و بازیابی مواد ممکن است با افزایش نرخ بازیافت همراه باشد. از نظر اقتصاد چرخشی، اهمیت این یافته در آن است که پسماند را از یک «هزینهٔ دفع» به یک «منبع مواد قابل بازیابی» تبدیل می‌کند؛ بنابراین، سیاست مدیریت پسماند تهران باید از تمرکز صرف بر جمع‌آوری و دفع، به سمت ایجاد زنجیره‌ای یکپارچه از تفکیک، جمع‌آوری، پردازش، بازیابی، بازیافت و بازگشت مواد به چرخهٔ تولید حرکت کند.

بر این اساس، توصیهٔ نخست، توسعهٔ ظرفیت واقعی و البته نه صرفاً تعداد مراکز پردازش و بازیابی است. سرمایه‌گذاری باید بر اساس ظرفیت مورد نیاز، نوع پسماند، فناوری پردازش و امکان بازگشت مواد به چرخهٔ اقتصادی انجام شود.

توصیهٔ دوم، تقویت تفکیک از مبدأ است. توسعهٔ زیرساخت‌های پردازش بدون تأمین ورودی مناسب و تفکیک‌شده نمی‌تواند به حداکثر ظرفیت خود دست یابد؛ بنابراین، سیاست‌های زیرساختی باید با برنامه‌های تشویقی و آموزشی خانوارها و کسب‌وکارها همراه شود.

توصیهٔ سوم، ایجاد مشوق‌های اقتصادی برای شهروندان است. بخشی از ارزش اقتصادی مواد بازیافتی می‌تواند از طریق سازوکارهای شفاف و قابل ردیابی به مشارکت‌کنندگان بازگردانده شود. این سیاست می‌تواند انگیزهٔ اقتصادی لازم برای افزایش مشارکت در تفکیک و تحویل پسماندهای قابل بازیافت را فراهم کند.

توصیهٔ چهارم، تغییر رویکرد بودجه‌ریزی مدیریت پسماند از «بودجه‌محوری» به «عملکردمحوری» است. تخصیص منابع می‌تواند بر اساس شاخص‌هایی مانند مقدار پسماند تفکیک‌شده، ظرفیت واقعی پردازش، مقدار مواد بازیابی‌شده و نرخ بازیافت صورت گیرد تا منابع مالی به فعالیت‌های دارای بازده بالاتر هدایت شوند.

توصیهٔ پنجم، توسعهٔ بازار مواد ثانویه است. تحقق اقتصاد چرخشی صرفاً با افزایش نرخ بازیافت پایان نمی‌یابد؛ مواد بازیابی‌شده باید دوباره وارد فرایند تولید شوند؛ از این رو، ایجاد ارتباط میان مراکز پردازش و بازیابی و صنایع مصرف‌کنندهٔ مواد ثانویه، ایجاد استانداردهای کیفیت برای مواد بازیافتی و حمایت از بازار این مواد می‌تواند حلقهٔ بازگشت مواد به اقتصاد را تکمیل کند.

در نهایت، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد حرکت تهران به سمت اقتصاد چرخشی نیازمند ترکیب هم‌زمان سیاست‌های اقتصادی، زیرساختی، آموزشی و مالی است. افزایش درآمد و آگاهی شهروندان می‌تواند تقاضا و مشارکت اجتماعی را تقویت کند؛ تخصیص هدفمند بودجه و هزینه‌ها می‌تواند منابع لازم را فراهم کند؛ و توسعهٔ ظرفیت پردازش و بازیابی می‌تواند زیرساخت لازم برای بازگشت مواد به چرخهٔ اقتصادی را ایجاد کند؛ بنابراین، سیاست مطلوب مدیریت پسماند شهری نباید صرفاً بر افزایش نرخ بازیافت متمرکز باشد، بلکه باید به دنبال شکل‌دهی یک زنجیرهٔ کامل اقتصاد چرخشی از کاهش و تفکیک پسماند تا بازیابی مواد و بازگشت آنها به چرخهٔ تولید باشد.

محدودیت‌های پژوهش

پژوهش حاضر، همانند سایر مطالعات مبتنی بر داده‌های سری زمانی، با محدودیت‌هایی مواجه است که در تفسیر نتایج باید مورد توجه قرار گیرند. نخست، محدودیت در دسترسی به

داده‌های سالانه و منسجم دربارهٔ مدیریت پسماند شهر تهران موجب شد برخی از متغیرهای مرتبط با اقتصاد چرخشی، از جمله میزان استفادهٔ مجدد از مواد، ارزش اقتصادی مواد بازیافتی و مقدار مواد ثانویهٔ بازگشتی به فرایند تولید، در مدل وارد نشوند؛ از این رو، نرخ بازیافت و ظرفیت پردازش و بازیابی مواد به عنوان شاخص‌های قابل اندازه‌گیری برای تحلیل پیوند میان مدیریت پسماند و اقتصاد چرخشی استفاده شدند.

دوم، کیفیت و قابلیت دسترسی به اطلاعات مربوط به ظرفیت واقعی مراکز پردازش و بازیابی یکی از محدودیت‌های پژوهش است. ظرفیت ثبت‌شدهٔ مراکز لزوماً به معنای ظرفیت عملیاتی یا میزان واقعی پردازش و بازیابی نیست و ممکن است تفاوت‌هایی میان ظرفیت اسمی و عملکرد واقعی مراکز وجود داشته باشد.

سوم، محدودبودن تعداد مشاهدات سالانه دامنهٔ مدل‌سازی اقتصادسنجی را محدود می‌کند و می‌تواند بر توان آزمون‌های آماری و دقت برآورد ضرایب اثرگذار باشد؛ از این رو، نتایج باید در چارچوب حجم نمونه و دورهٔ زمانی مورد مطالعه تفسیر شوند و تعمیم آنها به دوره‌های زمانی یا شهرهای دیگر با احتیاط صورت گیرد.

چهارم، برخی از متغیرهای مهم رفتاری و نهادی، از جمله میزان مشارکت واقعی خانوارها در تفکیک از مبدأ، میزان آگاهی زیست‌محیطی، اعتماد شهروندان به نظام جمع‌آوری پسماند و میزان مشارکت بخش خصوصی، به دلیل محدودیت داده‌های سالانه و قابل اتکا در مدل لحاظ نشده‌اند؛ بنابراین، بخشی از عوامل مؤثر بر نرخ بازیافت ممکن است در قالب اثر سایر متغیرها یا جزء اخلال مدل منعکس شده باشد.

پنجم، تعداد مراکز بازیافت به عنوان شاخص زیرساختی لزوماً کیفیت، ظرفیت، دسترسی و کارایی عملیاتی این مراکز را نشان نمی‌دهد. عدم معناداری این متغیر در مدل نیز ممکن است تا حدی ناشی از همین محدودیت اندازه‌گیری باشد؛ بنابراین، در پژوهش‌های آینده، استفاده از شاخص‌های دقیق‌تر ظرفیت عملیاتی و عملکرد مراکز توصیه می‌شود.

در نهایت، نتایج این پژوهش بر اساس روابط آماری میان متغیرهای مورد بررسی به دست آمده است و تفسیر آنها باید با توجه به محدودیت‌های داده‌ای و ساختار مدل صورت گیرد.

پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی با استفاده از داده‌های فصلی یا ماهانه، شاخص‌های دقیق‌تر اقتصاد چرخشی، اطلاعات مربوط به مقدار واقعی مواد بازیابی‌شده و استفادهٔ مجدد، و داده‌های مربوط به مشارکت خانوارها و بخش خصوصی، ابعاد مختلف اقتصاد چرخشی در مدیریت پسماند شهری را با دقت بیشتری بررسی کنند.

میزان استفاده از هوش مصنوعی

در فرایند تهیهٔ این مقاله، از ابزارهای هوش مصنوعی مولد صرفاً به عنوان ابزار کمکی در ویرایش و بهبود نگارشی، بازبینی ساختار متن، اصلاح برخی از عبارت‌ها و سازمان‌دهی مطالب استفاده شده است. استفاده از این ابزارها در طراحی چارچوب نظری و مدل اقتصادسنجی، گردآوری و تولید داده‌ها، انجام محاسبات و برآوردهای اقتصادسنجی، تفسیر نهایی نتایج و تدوین یافته‌های علمی جایگزین قضاوت و مسئولیت نویسندگان نشده است. کلیهٔ داده‌ها، روش‌شناسی، نتایج، محاسبات و محتوای علمی مقاله توسط نویسندگان بررسی و تأیید شده و مسئولیت کامل صحت و اصالت مطالب به عهدهٔ نویسندگان است.

منابع

ترابی، تقی، خدمتگزار، حمیدرضا، و خمسه، عباس (۱۴۰۳). شناسایی و طراحی مدل نوآوری صنعتی بر اساس اقتصاد چرخشی با روش تلفیقی فراترکیب و تکنیک دلفی فازی. *فصلنامهٔ مطالعات زیست‌بوم اقتصاد نوآوری*، ٤(۳)، ۷۱–۹۸. https://doi.org/10.22111/innoeco.2025.50220.1132

ذاکری، علیرضا، و روشنفکر، پیام (۱٤۰٤). اقتصاد چرخشی در ایران: مطالعهٔ انگیزه‌های حضور در بازار خرید‌وفروش کالاهای دست‌دوم. *مطالعات جامعه‌شناختی (نامهٔ علوم اجتماعی سابق)*، ۳۲(۱)، ۷–۲٤. https://doi.org/10.22059/jsr.2025.381478.1996

سازمان مدیریت پسماند شهرداری تهران. (۱٤۰۳). *آمار و گزارش‌های مدیریت و تولید پسماند شهری تهران*. شهرداری تهران.

شریفیان جزی، سحر، محمدی، علی، عباسی، عباس، و علی‌محمدلو، مسلم (۱٤۰۳). شناسایی چالش‌های مؤثر بر پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی و صنعت ٤/۰ در مدیریت زنجیرهٔ

تـأمین. *پژوهش‌هـای مـدیریت در ایـران*، ۲۸(۲)، ۱٤٦-۱۸۳.
https://mri.modares.ac.ir/article_661.html

کلانتری، عبدالحسین، صالحی، صادق، و آقایی ابیانـه، بنفشـه (۱۳۹۵). بررسی ارتبـاط بـین ارزش‌هـای محیطزیسـتی و رفتـار پسـماند خـانواده (مطالعـهٔ مـوردی منطقـهٔ هفـت شـهر تهـران). *مطالعـات و تحقیقـات اجتمـاعی در ایـران*، ۵(۳)، ۳٦۹-۳۸۵.
https://doi.org/10.22059/jisr.2016.60084

میرفلاح دموچالی، رضوانه، ابراهیم‌پور، مصـطفی، رمضـانیان، محمـدرحیم، و مـرادی، محمـود (۱٤۰٤). ارائـهٔ مـدل راهبـردی طراحی محصول در اقتصاد چرخشی در صـنعت لـوازم خـانگی. *فصـلنامهٔ مطالعـات مـدیریت راهبـردی*، ۱٦(٦۲)، ۱۹۷-۲۲۲.
https://doi.org/10.22034/smsj.2025.461861.2032

References

Al Hosni, I. S., Amoudi, O., & Callaghan, N. (2020). An exploratory study on challenges of circular economy in the built environment in Oman. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Management, Procurement and Law*, *173*(3), 104–113. https://doi.org/10.1680/jmapl.19.00034

Chen, L.-H., Hung, P., & Ma, H.-W. (2020). Integrating circular business models and development tools in the circular economy transition process: A firm-level framework. *Business Strategy and the Environment*, *29*(5), 1887–1898. https://doi.org/10.1002/bse.2477

European Environment Agency. (2020). *A framework for enabling circular business models in Europe*. https://doi.org/10.2800/073658

Kalantari, A., Salehi, S., & Aghaei Abyaneh, B. (2016). Study of the effects of environmental values on household's waste behavior (case study of Tehran). *Social Studies and Research in Iran*, *5*(3), 369–385. https://doi.org/10.22059/jisr.2016.60084 [In Persian]

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0

Mirfallah Demuchali, R., Ebrahimipour, M., Ramezanian, M. R., & Moradi, M. (2025). Presenting a strategic model for product design in the circular economy in the home appliance industry. *Strategic Management Studies Quarterly*, *16*(62), 197–222. https://doi.org/10.22034/smsj.2025.461861.2032 [In Persian]

Pesaran, M. H., & Shin, Y. (1999). An autoregressive distributed-lag modelling approach to cointegration analysis. In S. Strøm (Ed.), *Econometrics and economic theory in the 20th century: The Ragnar Frisch Centennial Symposium* (pp. 371–413). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CCOL521633230.011

Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, *16*(3), 289–326. https://doi.org/10.1002/jae.616

Schöggl, J.-P., Baumgartner, R. J., O'Reilly, C. J., Bouchouireb, H., & Göransson, P. (2024). Barriers to sustainable and circular product design: A theoretical and empirical prioritization in the European automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, *434*, Article 140250. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140250

Sharifian Jazi, S., Mohammadi, A., Abbasi, A., & Alimohammadlou, M. (2024). Identifying the challenges affecting the implementation of circular economy and Industry 4.0 in supply chain management. *Management Research in Iran*, *28*(2), 146–183. https://mri.modares.ac.ir/article_661.html [In Persian]

Tehran Municipality Waste Management Organization. (2025). *Statistics and reports on urban waste management and generation in Tehran*. Tehran Municipality. [In Persian]

Torabi, T., Khedmatgozar, H. R., & Khamseh, A. (2025). Identifying and designing an industrial innovation model based on the circular economy using a meta-synthesis and fuzzy Delphi approach. *Journal of Innovation Economic Ecosystem Studies*, *4*(3), 71–98. https://doi.org/10.22111/innoeco.2025.50220.1132 [In Persian]

Zakeri, A., & Roshanfekr, P. (2025). Circular economy in Iran: A study of motivations for participating in the second-hand goods market. *Sociological Studies*, *32*(1), 7–24. https://doi.org/10.22059/jsr.2025.381478.1996 [In Persian]

[i] Circular Economy
[ii] Schöggl
[iii] Chen
[iv] Al Hosni
[v] Closed-loop
[vi] Pesaran & Shin
[vii] Trend-Stationary
[viii] Conditional ECM

[ix] Wald F Test
[x] Recycle Rate
[xi] Income
[xii] Cost
[xiii] Facilities
[xiv] Budget
[xv] Literacy
[xvi] RPC