

Simulation of the Causal Loop Model of Kerman Waste Management Using Fuzzy Theory

Hossein Vahidi

* Assistant Professor, Department of Environmental Research, Environmental Research Institute, Kerman Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran. (Corresponding Author) H.vahidi@kgut.ac.ir

MohammadAli Bagherzadeh

Assistant Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

Ehsan Seyedi

Master's degree in Civil Engineering, Graduate University of Industrial and Advanced Technology, Kerman, Iran.

Abstract

Background and Objective: Waste management has always been a significant challenge for municipalities. Alongside the formal operational cycle of municipalities, other stakeholders and actors also play an informal role in urban waste management. The majority of the segregation of valuable waste is carried out by these individuals. This study presents the waste management of the city of Kerman, focusing on both formal and informal recycling collection cycles and utilizing financial permits and municipal oversight to regulate these activities.

Materials and Methods: In this study, the waste management cycle model of the city of Kerman is initially introduced, emphasizing the formal and informal recycling collection cycles. Subsequently, a simulated model in MATLAB software is presented, along with a fuzzy controller system for determining the purchase price of recyclable materials by the municipality to compete with the informal cycle.

Findings: The model's results, including the number of individuals attracted by the formal network, the municipality's revenue from the purchase and sale of recyclables, and the sale of permits for a scenario with a permit price equivalent to ten million Rials, were examined. According to the results, the existence of an activity permit tool significantly impacts the municipality's share in attracting the participation of informal collectors throughout the city.

Conclusion: To prevent protests and a lack of support for the plan, it is recommended that the permit price be lower at the initial implementation stage, and the intensity of oversight be increased as much as possible to ensure collectors are required to obtain an activity permit. Issuing activity permits can not only enhance the financial benefits for the municipality but also have positive social and environmental effects, improving the supervision of individuals' activities.

Keywords: Waste Management, Causal Loop Diagram, Financial License, Fuzzy Controller, MATLAB Software

Open Access Policy: This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Received: 2024/03/08

Accepted: 2024/08/18

Doi:10.22038/jreh.2024.24894

► **Citation:** Vahidi H, Bagherzadeh MA, Seyedi E. Simulation of the Causal Loop Model of Kerman Waste Management Using Fuzzy Theory. *Journal of Research in Environmental Health*. 10 (2):94-110.

شبیه‌سازی مدل چرخه مدیریت پسماند شهر کرمان با استفاده از تئوری فازی

حسین وحیدی

* استادیار گروه محیط‌زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران (نویسنده مسئول)
H.vahidi@kgut.ac.ir

محمدعلی باقرزاده کوهبنانی

استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.
احسان سیدی
کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: مدیریت پسماند همواره یکی از چالش‌های مهم در شهرداری‌ها است. در کنار چرخه عملکرد شهرداری‌ها (چرخه رسمی)، ذی‌نفعان و بازیگران دیگری به‌طور غیررسمی در مدیریت پسماند شهری نقش دارند. عمده تفکیک پسماندهای بازارش به عهده‌ی این افراد است. این مطالعه، مدیریت پسماند شهر کرمان را با محوریت چرخه‌های رسمی و غیررسمی جمع‌آوری مواد بازیافتی و استفاده از مجوزهای مالی و نظارت شهرداری برای ساماندهی آن‌ها ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه ابتدا مدل نمودار چرخه مدیریت پسماند شهر کرمان با محوریت چرخه‌های رسمی و غیررسمی جمع‌آوری مواد بازیافتی معرفی شده است. در ادامه، مدل شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار متلب به همراه یک سیستم کنترلر فازی برای تعیین قیمت خرید مواد بازیافتی توسط شهرداری به‌منظور رقابت با چرخه غیررسمی ارائه شده است.

یافته‌ها: نتایج مدل، شامل تعداد افراد جذب‌شده توسط شبکه رسمی، درآمد شهرداری از خریدوفروش مواد بازیافتی و همچنین فروش مجوزها برای سناریوی قیمت مجوز معادل ده میلیون ریال بررسی شد. طبق نتایج، وجود ابزار مجوز فعالیت تاثیر بسیار زیادی بر سهم شهرداری در توان جذب مشارکت جمع‌آوری‌کنندگان غیررسمی در سطح شهر دارد.

نتیجه‌گیری: به‌دلیل جلوگیری از اعتراضات و عدم استقبال از طرح، پیشنهاد می‌شود در شروع اجرای طرح، قیمت مجوز پایین‌تر باشد و شدت نظارت تا حد امکان افزایش می‌یابد تا جمع‌آوری‌کنندگان ملزم به دریافت مجوز فعالیت شوند. صدور مجوز فعالیت می‌تواند علاوه بر افزایش سود مالی شهرداری، اثرات مثبت اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه داشته و نظارت بر روند فعالیت افراد را بهبود بخشد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت پسماند، دیاگرام چرخه علی و معلولی، مجوز مالی، کنترلر فازی، نرم‌افزار متلب

◀ **استناد:** وحیدی ح، باقرزاده کوهبنانی م.ع، سیدی ا. شبیه‌سازی مدل چرخه مدیریت پسماند شهر کرمان با استفاده از تئوری فازی. فصلنامه‌ی پژوهش در بهداشت محیط. تابستان ۱۴۰۳؛ ۱۰ (۲): ۹۴-۱۱۰.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

نوع مقاله: پژوهشی

مقدمه

به‌صورت میانگین روزانه در حدود ۴۹ هزار تن پسماند شهری در ایران تولید می‌شود. در حال حاضر متولی رسمی تفکیک از مبدأ، پردازش و بازیافت پسماندها شهرداری‌ها هستند که راندمان بسیار ضعیفی در عملکرد خود دارند (۱). عمده دلایل ضعف سیستم دولتی، عدم وجود تخصص‌های لازم در بخش دولتی، عدم وجود برنامه‌های علمی و اجرایی متناسب با زیرساخت شهرها، جریان گروه‌های پردازش و بازیافت غیررسمی قدرتمند و ایجاد اختلال در طرح‌های توسط آن‌ها و درنهایت عدم جذب سرمایه‌ی بخش خصوصی در این حوزه است (۲).

در حال حاضر تفکیک از مبدأ پسماندهای پلاستیکی از وضعیت نامناسبی برخوردار است. جمع‌آوری مواد باارزش پسماندها عمدتاً توسط قشر فقیر جامعه و به‌صورت غیراستاندارد انجام می‌شود. مواد جمع‌آوری‌شده به کارگاه‌های سطح شهرها انتقال داده می‌شوند که هیچ‌گونه نظارتی بر آن‌ها نیست (۳). کارگاه‌های موردنظر عمدتاً پسماندها را خرد کرده یا پرس می‌کنند و برای مصرف صنایع تبدیلی مواد بازیافتی ارسال می‌کنند. این جریان را می‌توان "جریان غیررسمی پسماند" نامید که عمده اقتصاد این صنعت را به خود اختصاص داده و از مهم‌ترین دلایل عدم موفقیت طرح‌های دولتی مدیریت پسماند در کشور است. چرخه و جریان پسماندهای بازیافتی در ایران با بهبود برنامه مدیریت، اقتصادی، اجرایی با قطعیت قابلیت افزایش راندمان و تولید را دارد. مدیریت پسماندهای شهری یکی از شیوه‌های بسیار مناسب برای ایجاد تعامل و پیوند بین صنعت و محیط‌زیست و کاهش اثرگذاری‌های سوء فعالیت‌های غیررسمی و غیراستاندارد در محیط‌زیست است. برای تدوین یک طرح و برنامه جامع مدیریت پسماند باید تمامی شرایط و نیازهای جامعه در نظر گرفته شود و سپس با ترکیب آن‌ها موثرترین و مناسب‌ترین روش‌ها و راهکارها برای شرایط موردنظر تعریف و تبیین گردد (۴). این راهکارها باید شامل کلیه فعالیت‌های مدیریت پسماندها اعم از کاهش تولید پسماند، تفکیک از مبدأ، بازیافت و دفع (کمپوست، زباله‌سوزی و دفن بهداشتی) باشد. در تجزیه و تحلیل یک سیستم ابتدا باید فرایندها و واحدهای

عملیاتی مطالعه شوند، داده‌ها جمع‌آوری شوند و نقاط ضعف سیستم و گپ‌ها شناسایی شده و سپس راه‌حل‌های امکان‌پذیر ارائه شود (۵). ارزیابی مدیریت پسماند جامد با استفاده از تکنیک‌های تحلیل سیستمی به تصمیم‌گیرندگان این اجازه را می‌دهد تا پیچیدگی سیستم را درک کنند. مدیریت مؤثر پسماند نمی‌تواند بدون دانش کاملی از جریان ورودی و خروجی به درون سیستم مدیریت پسماند انجام شود. از این‌رو، استفاده از رویکرد تجزیه و تحلیل جریان مواد یک پیش‌نیاز برای مدیریت موفق پسماند است (۴).

جمع‌آوری‌کننده‌ی غیررسمی معمولاً در فرایند کاری خود مسائل ایمنی، بهداشت و محیط زیستی را رعایت نمی‌کنند و دارای خسارت‌هایی به جامعه در هنگام فعالیت‌های خود می‌باشند. به‌عنوان مثال، به‌منظور تفکیک و جداسازی پسماندهای باارزش بازیافتی اقدام به بازکردن و مخلوط نمودن کیسه‌های پسماند خانگی در سطح شهر نموده و بعد از جداسازی مابقی پسماند را در محیط رها کرده که این موضوع باعث گسترش آلودگی، صرف هزینه بیشتر نیروهای تنظیف و جمع‌آوری پسماند شهرداری به‌منظور پاک‌سازی مکان می‌شود (۶) همچنین، بر روی این واحدها نظارت رسمی وجود ندارد و گردش مالی این افراد معمولاً خارج از چرخه‌های مالی رسمی است. از این‌رو، ساماندهی چرخه‌ی غیررسمی و خصوصاً جمع‌آوری‌کنندگان غیررسمی برای بهبود کیفی مدیریت پسماند شهری از ضرورت بالایی برخوردار است. شهرداری کرمان تاکنون از روش‌های مختلفی برای این موضوع بهره برده که تمامی آن‌ها با شکست مواجه شدند. لذا، با توجه به هزینه‌های بالای

اقدامات اجرایی در این خصوص تدوین یک سیستم شبیه‌سازی‌شده به‌منظور بررسی رفتارهای و سناریوهای مختلف اجرایی می‌تواند برای تصمیم‌گیری درست و مناسب شهرداری کرمان موثر باشد.

مدل‌های حلقه علی و معلولی^۱ CLD به‌عنوان ابزاری قدرتمند در تحلیل سیستم‌های پیچیده به شمار می‌روند و در حوزه‌ی مدیریت پسماند شهری کاربردهای چشمگیری دارند (۷). این مدل‌ها امکان شناسایی و تجزیه و تحلیل ارتباطات دینامیکی بین عوامل مختلفی که بر جریان‌های

^۱Causal Loop Diagram

پسماند تاثیر می‌گذارند را فراهم می‌آورند. در یک محیط شهری، که تولید و مدیریت پسماند تحت تاثیر عوامل متعددی مانند جمعیت، قوانین محلی، فرهنگ مصرف و فناوری‌های دسترسی به بازیافت قرار دارد، مدل‌های CLD می‌توانند چگونگی تاثیرپذیری و تاثیرگذاری این عوامل را به صورت مفهومی نمایش دهند (۸). استفاده از این مدل‌ها به مدیران شهری کمک می‌کند تا نقاط کلیدی مداخله برای بهبود فرآیندهای مدیریت پسماند را شناسایی کنند، بدین ترتیب که بازخوردهای مثبت و منفی درون سیستم را درک و بهینه‌سازی کنند.

به علاوه، مدل‌های CLD در مدیریت پسماند شهری نقش مهمی در برنامه‌ریزی استراتژیک و سیاست‌گذاری دارند. این مدل‌ها امکان پیش‌بینی پیامدهای طولانی‌مدت از تصمیمات کوتاه‌مدت را می‌دهند و مدیران را در تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده‌ها یاری می‌رسانند (۹). به خصوص در شرایطی که شهرداری‌ها نیازمند ارزیابی اثرات طرح‌های نوین بازیافت و کاهش تولید پسماند هستند، CLD می‌تواند تصویر واضح‌تری از تعاملات و پیامدهای احتمالی ارائه دهد. از طریق شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، پیش‌بینی می‌شود که چه تغییراتی در سیاست‌ها یا رویه‌ها می‌توانند به کاهش موثرتر حجم پسماندها، افزایش بازیافت و بهبود کلی سیستم مدیریت پسماند شهری منجر شوند. این امر به‌ویژه در محیط‌های شهری که با چالش‌های پیچیده‌تری مواجه‌اند، می‌تواند راهکارهای عملی و نوآورانه‌ای را برای پایداری زیست‌محیطی ارائه دهد.

بودیمانا^۱ در سال ۲۰۱۷ به مطالعه‌ی فناوری سیستم‌های مدیریت زباله جامد شهری در اندونزی پرداخت (۱۰). به‌عنوان کشورهای درحال توسعه، در اندونزی به دلیل افزایش جمعیت، تولید زباله‌ی جامد شهری رو به افزایش است و تولید آن در سال ۲۰۱۴ به ۱۹۰،۰۰۰ تن در روز رسیده است. بودیمانا سه فناوری مبتنی بر حرارت برای اتلاف انرژی مورد مطالعه قرار دادند که عبارت‌اند از: سوزاندن، گازرسانی هوای معمولی و مایع‌سازی پلاسما. امکان‌سنجی آن‌ها از نظر محیطی و اقتصادی ارزیابی شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، هیچ‌یک از آن‌ها

به دلیل انتشار دی‌اکسیدکربن بیشتر از استاندارد انتشار آژانس حفاظت از محیط‌زیست از نظر محیط‌زیست امکان‌پذیر نبود. با این حال، دو مورد از آن‌ها، گاززدایی هوای معمولی و گاز زدایی پلاسما، از نظر اقتصادی امکان‌پذیر بود.

ون فن^۲ و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی پیاده‌سازی اقتصاد حلقوی در سیستم بازیافت پسماندهای جامد شهری با استفاده از نمودار P پرداختند (۱۱). هدف از این مطالعه توسعه یک طراحی یکپارچه از سیستم‌های مدیریت پسماند در حمایت از اقتصاد حلقوی توسط نمودار P (یک ابزار بهینه‌سازی گرافیکی دوطرفه) به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی موثر برای تصمیم‌گیری است. مطالعه موردی چهارترکیب سیستم مدیریت پسماند را بر اساس سطوح مختلف درآمد کشور مورد مطالعه در نظر گرفته است. حل مدل نمودار P با در نظر گرفتن تعادل اقتصادی بین هزینه‌ی اصلی کار، نوع، عملکرد، کیفیت محصولات و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای (هزینه‌ی خارجی)، مناسب‌ترین رویکردهای مدیریت را مشخص می‌کند. شناسایی راه‌حل‌های تقریباً بهینه توسط نمودار P در مقابله با معاملات بین اهداف متناقض مفید است. طبق نتایج این تحقیق، برای یک کشور با درآمد کم، راه‌حل بهینه شامل ترکیبی از جداسازی از منبع، بازیافت، سوزاندن (گرما، برق)، هضم بی‌هوازی (سوخت زیستی، هضم) و محل دفن زباله است. بهینه‌سازی به‌طور کلی با افزایش سطح درآمد کشور، از درمان بیولوژیکی مکانیکی حمایت می‌کند که این امر بر ترکیب سیستم‌های مدیریت پسماند تاثیر می‌گذارد. قیمت‌های نسبی سوخت‌های زیستی، برق و گرما (بیشتر از ۲۰٪) تاثیر قابل توجهی در بالاترین ساختار پردازش و سود کلی دارد.

بابالولا^۳ (۲۰۱۹) یک رویکرد مبتنی بر سیستم‌های پویا برای درک بهتر نقش مدیریت پسماندهای غذایی و زیست تخریب‌پذیر را در سیستم مدیریت زباله شهری اویتا در ژاپن بررسی نمود (۱۲). شهرداری‌ها مسئول مدیریت پسماندهای خود از جمله مواد غذایی و پسماندهای زیست تخریب‌پذیر هستند و این منجر به برخی تصمیم‌گیری‌های پیچیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با معرفی یک دستگاه هاضم بی‌هوازی برای پسماندهای زیست تخریب‌پذیر راندمان سوزاندن افزایش می‌یابد. همچنین

^۱Babalola^۲Budimana^۳VanFan

تقویت مقررات تفکیک پسماند و کاهش میزان پسماندهای زیست تخریب‌پذیر در فرایند سوزاندن در زباله‌سوز، سیستم فعلی را بهبود می‌بخشد.

تونگ و همکاران (۲۰۲۱) نقش بخش غیررسمی سیستم مدیریت زباله‌ی جامد شهری را برای درک وضعیت توسعه پایدار در ویتنام را بررسی کردند (۱۳). طبق نظر ایشان بخش غیررسمی جمع‌آوری پسماند نقش مهمی در تنوع درآمد برای فقرا و کمک به بازیافت پسماند دارد، این بخش هنوز در هیچ سیاست رسمی دولتی به رسمیت شناخته نشده است و معمولاً در ویتنام دست‌کم گرفته می‌شود. این مقاله از یک رویکرد تفکر سیستمی برای تجزیه و تحلیل نقش‌های حیاتی بخش غیررسمی در سیستم مدیریت زباله جامد در ویتنام استفاده می‌کند. از دیدگاه اقتصاد چرخشی، نمودار جریان برای اولین بار ساخته شد که می‌تواند بازیگران و فعالیت‌های بخش غیررسمی را در یک سیستم مدیریت پسماند گسترده‌تر در ویتنام ادغام کند. این نقشه بر تحلیل مشارکت‌ها و فعالیت‌های بخش غیررسمی، تمرکز بر نقش‌ها و تأثیرات آن بر سیستم بازیافت تمرکز دارد. این مقاله سپس از رویکرد تفکر سیستمی برای تحلیل بیشتر مشکل سیستماتیک بخش غیررسمی استفاده کرد. این تجزیه و تحلیل بر اساس بررسی میدانی شامل عناصر و نیروهای محرکه اصلی سیستم‌ها با ۳۶ فروشنده ضایعات، ۱۲۷ خریدار قراضه، و ۷۶۰ خانوار و مصاحبه‌های عمیق با کارشناسان در منطقه دلتای مکونگ، ویتنام است. بر اساس شیوه‌ها و تجربه در فعالیت‌های مرتبط با پسماند بخش غیررسمی، این بخش باید در فرآیند کلی مدیریت پسماند ادغام شود.

فرناندز و همکاران در سال ۲۰۱۷ به بررسی اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم‌های تبدیل پسماند به انرژی برای مدیریت پسماندهای جامد شهری در شهرداری‌های متوسط و کوچک پرداختند (۲). این مقاله به تحلیل هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی فناوری‌های مختلف تبدیل و این روش‌ها را با روش مکانیکی بیولوژیکی فعلی در محل‌های دفن زباله و سوزاندن با بازیابی انرژی مقایسه کردند. طبق نتایج این تحقیق، از نقطه نظر اقتصادی، اجرای سیستم‌های پسماند به انرژی هزینه اجرای سیستم‌های

موجود مکانیکی بیولوژیکی و سوزاندن را کاهش می‌دهد. گازدهی کمترین مقدار را دارد. از دیدگاه محیط‌زیست، ارزیابی چرخه زندگی نشان می‌دهد که هر گزینه جایگزین پسماند به انرژی، از جمله سوزاندن، مزایای مهمی برای محیط‌زیست در مقایسه با مکانیکی بیولوژیکی دارد. سرانجام، به منظور انتخاب بهترین گزینه، از روشی چندمعیاره استفاده می‌شود که نشان می‌دهد هضم بی‌هوازی راه‌حل بهینه برای منطقه‌ی مورد مطالعه است.

با توجه به پیچیدگی‌های شناسایی شده در رویه‌های کنونی مدیریت پسماند شهری، این مطالعه به بررسی دقیق چالش‌های سیستمی که به‌طور بنیادین در محیط‌های شهری وجود دارد، می‌پردازد. با استفاده از مدل نمودار حلقه علی و معلولی (CLD) پیچیده، این تحقیق در پی گشودن حلقه‌های بازخورد پیچیده‌ای است که بر دینامیک‌های مدیریت پسماند در کرمان تأثیر می‌گذارند. با یکپارچه‌سازی سیستم‌های کنترل فازی در روش‌شناسی به دنبال بهبود درک این فرایندها و پیشنهاد استراتژی‌های عملی خواهد شد تا بتوان درک درستی از کارایی مجوزهای مالی در مدیریت پسماند را بررسی نمود.

روش کار

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، شهر و شهرداری کرمان است. سیستم مدیریت پسماند کنونی شهرداری کرمان، یک سیستم سنتی و قدیمی است که هزینه بسیاری را بر دوش شهرداری کرمان تحمیل کرده است و درآمدزایی بسیار اندکی از محل بازیافت و غرفه‌های تفکیک از مبدا مستقر از شهر به دست می‌آورد. درآمد حاصله در مقابل هزینه‌های انجام شده در حوزه پسماند بسیار اندک بوده که سیستم کنونی را فاقد صرفه‌ی اقتصادی نموده است. خدمات سازمان مدیریت پسماند عمدتاً بر جمع‌آوری کیسه‌های پسماند خانگی از درب منازل و انتقال آن‌ها به واحد پردازش مکانیکی مستقر در خارج شهر تمرکز دارد. عمده پسماندهای جمع‌آوری شده، پس از جداسازی مواد باارزش قابل بازیافت، در ترانشه‌های حفر شده دفن می‌شود.

متاسفانه در حال حاضر راندمان واحد پردازش مکانیکی به دلیل تفکیک عمده‌ی پسماندهای باارزش بازیافتی توسط افراد دوره‌گرد (جریان غیررسمی) در سطح شهر، بسیار پایین است. افراد دوره‌گرد کیسه‌های پسماند را در محل تجمع پسماند در کوچه‌ها پاره کرده و مواد باارزش بازیافتی را جدا می‌کنند. زمانی که کامیون‌های جمع‌آوری پسماند شهرداری مراجعه می‌کنند عمدتاً بایستی پسماندهای برجا مانده را با زحمت زیاد و زمان بیشتر از حالت کیسه‌های دست‌نخورده بارگیری نمایند.

بنا بر اطلاعات اخذشده از مدیریت پسماند شهرداری کرمان، میزان تولید روزانه پسماند شهر کرمان حدوداً ۳۵۰ تا ۴۰۰ تن بوده که این میزان در روزهای پایانی سال تا سه برابر افزایش پیدا می‌کند. طبق برآورد صورت گرفته توسط شهرداری کرمان مواد باارزش قابل بازیافت در حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد از پسماندهای شهری را تشکیل می‌دهند.

نمودار حلقه علی

در این پژوهش از مدل‌سازی نمودار حلقه علی استفاده شده است. نمودار حلقه علی ارتباطات علت و معلولی میان پدیده‌ها را توصیف می‌کنند و در بعضی موارد با عنوان مدل مفهومی سیستم نیز شناخته می‌شوند. در این مدل‌ها، اجزای سیستم به صورت جزئی مورد مطالعه واقع می‌شوند و سیستم به عنوان یک جعبه‌ی سفید در نظر گرفته شده که وضعیت درون آن مشخص است. بر اساس تفکر سیستمی و نظریه سیستم‌ها، بازخورد نقش کلیدی در این حوزه دارد و تکمیل‌کننده‌ی حلقه‌ها هستند. پس از تکمیل این مرحله، نمودار حالت و جریان طراحی می‌شود. در هنگام ترسیم نمودار حلقه علی باید توجه داشت که روابط علت و معلولی با متغیرهایی که تغییرات آن‌ها با یکدیگر همبستگی دارند اما هیچ کدام علت دیگری نیستند، اشتباه گرفته نشوند (۱۴).

به عبارت دیگر، تفکر سیستمی اهمیت بسیاری دارد زیرا این رویکرد به شناسایی و تجزیه و تحلیل ارتباطات پویا بین عناصر مختلف سیستم مدیریت پسماند کمک می‌کند. با تمرکز بر روابط علت و معلولی، می‌توان فهمید که چگونه تصمیمات و اقدامات مختلف، به‌ویژه در زمینه بازیافت و دفع پسماند، بر یکدیگر تاثیر می‌گذارند و بازخوردهای متقابل ایجاد می‌کنند. نقش بازخورد در این سیستم‌ها به خصوص

مهم است، چرا که امکان ارزیابی تاثیرات بلندمدت و کوتاه‌مدت راهکارهای پیاده‌سازی شده را فراهم می‌آورد و به بهبود و تعدیل استراتژی‌های مدیریت پسماند در آینده کمک می‌کند. این درک متقابل علت و معلولی و بازخورد، بستری را برای تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تر و فراگیرتر فراهم می‌آورد، که به سیستم کمک می‌کند تا به شکل موثرتری به چالش‌های پیش رو پاسخ دهد.

نرم‌افزار ونسیم^۱ برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی پویایی سیستم‌ها طراحی شده است. این نرم‌افزار یک محیط بصری و تعاملی برای ایجاد مدل‌های پویا در سیستم‌های پیچیده فراهم می‌کند و امکان ایجاد نمودارهای حلقه علی، نمودارهای حالت و جریان و سایر مدل‌های پویای سیستم را فراهم می‌کند. این نرم‌افزار به کاربران امکان می‌دهد تا متغیرها، معادلات و روابط بین اجزای سیستم را تعریف کنند و از طریق آن، رفتار سیستم را در طول زمان شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل کنند. این نرم‌افزار جهت درک و حل مسائل پیچیده سیستم‌های دینامیک در زمینه‌هایی نظیر تجارت، اقتصاد، علوم محیطی، سیاست عمومی و مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۶). لازم به ذکر است کلیه استانداردهای ترسیم مدل‌های نمودار حلقه علی در این نرم‌افزار رعایت شده است و به منظور کسب اطلاعات بیشتر درباره‌ی آن‌ها می‌توانید به منبع (۱۷) مراجعه کنید.

کنترل‌گر فازی

منطق فازی به‌طور گسترده در سامانه‌های کنترلی استفاده می‌شود. اصطلاح "فازی" یا مبهم به این واقعیت اشاره دارد که منطق حاکم بر سامانه می‌تواند با مفاهیمی برخورد کند که نمی‌توانند به عنوان "درست" یا "نادرست" بیان شوند، بلکه به عنوان "تا حدی درست" بیان می‌شوند (۱۸). اگرچه رویکردهای دیگری مانند الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی می‌توانند در بسیاری از موارد مانند منطق فازی عمل کنند، اما منطق فازی این مزیت را دارد که راه‌حل مسئله را می‌توان به گونه‌ای که اپراتورهای انسانی آن را درک کرده‌اند، ارائه و پیاده‌سازی کرد. به این ترتیب از تجربه آن‌ها برای طراحی کنترل‌کننده، بدون داشتن مدل ریاضی دقیقی برای سامانه، استفاده نمود. این خصوصیت باعث می‌شود تا مکانیزه کردن کارهایی که قبلاً توسط انسان با موفقیت انجام شده‌اند، آسان‌تر شود.

تعداد و نوع توابع تعلق تعریف شده در این شبیه‌سازی به صورت سعی و خطا به نحوی تعیین شده است که خطای مدل‌سازی کمترین میزان ممکن باشد. لازم به ذکر است، در یک پروژه جداگانه می‌توان مقادیر بهینه توابع تعلق و نوع آن‌ها را تعیین نمود.

یافته‌ها

در این قسمت ابتدا به معرفی سناریوی چرخه‌ی علی و معلولی مدیریت پسماند شهر کرمان با محوریت چرخه‌های رسمی و غیررسمی جمع‌آوری مواد بازیافتی و استفاده مجوزهای مالی و نظارت شهرداری برای ساماندهی آن‌ها پرداخته شده است. در ادامه مدل شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار MATLAB بر اساس استفاده از کنترل‌گرهای فازی برای تعیین قیمت رقابتی خرید مواد بازیافتی توسط شهرداری کرمان ارائه شده و سپس در قالب سه قیمت مختلف مجوزهای مالی نتایج مدل مانند تعداد افراد جذب شده توسط شبکه رسمی، درآمد شهرداری از خرید و فروش مواد بازیافتی و همچنین فروش مجوزها بررسی شده است.

سناریوی پیشنهادی مدیریت پسماند

در این مطالعه تنها یک سناریو بررسی شده است. در این سناریو با تعریف یک مجوز فعالیت برای ناوگان غیررسمی جمع‌آوری پسماندهای بارزش بازیافتی سعی بر کنترل فعالیت آن‌ها، نظارت، ساماندهی و کسب درآمد پایدار برای شهرداری کرمان با رویکرد برد-برد-برد برای سه بازیگر اصلی یعنی شهرداری کرمان، شهروندان و ناوگان غیررسمی جمع‌آوری پسماند شده است. البته بایستی اشاره داشت به صورت دقیق‌تر تنها بازیگران این مطالعه شهرداری و ناوگان غیررسمی جمع‌آوری پسماند در نظر گرفته شده است و شهروندان به عنوان کسی که در نهایت از برد هر دو گروه به منافع اجتماعی و محیط زیستی خواهد رسید. شهروندان نقش مهمی در بهره‌وری از سیستم مدیریت پسماند و حفظ منافع اجتماعی و محیط زیستی دارند. از طریق مشارکت در برنامه‌های تفکیک پسماند از مبدأ، آن‌ها می‌توانند به افزایش کارآمدی فرآیندهای بازیافت کمک کنند و میزان پسماندی که به مراکز دفع و پردازش منتقل می‌شود را

متغیرهای ورودی در یک سامانه کنترل فازی به طور کلی توسط مجموعه‌ای از نقشه‌های تابع عضویت کنترل می‌شوند که به عنوان مجموعه‌های فازی شناخته می‌شوند فرایند تبدیل یک مقدار ارزش ورودی به یک موجدار به یک مقدار ارزش فازی، فازی سازی نامیده می‌شود (۱۹). در یک سامانه کنترل، نوع سوئیچ یا on/off ورودی‌های همراه با ورودی‌های آنالوگ و همچنین سوئیچ در ورودی‌ها همواره یک ارتباط (حقیقت) مجموعه فازی دارند که ارزش آن برابر ۱ یا ۰ است. این طرح می‌تواند با آن‌ها به سادگی برخورد کند زمانی که توابع فازی یک مقدار با مقدار دیگری اتفاق می‌افتد. با توجه به نمایش متغیرهای ورودی به توابع عضویت و مقادیر حقیقی، میکروکنترلر براساس اقدامات، بر مبنای دستورها تصمیم می‌گیرد.

ترکیب عملیات فازی و نتیجه‌گیری مبتنی بر قاعده فازی سامانه تخصصی را توصیف می‌کند. سامانه‌های کنترل کلاسیک مبتنی بر مدل‌های ریاضی است که کنترل می‌کند یک یا چند سامانه با استفاده از یک یا چند معادله دیفرانسیل که به وسیله ورودی‌های سامانه تعریف می‌شود. چنین سامانه‌های اغلب به عنوان سامانه‌های PID که کنترل‌کننده‌ها متناسب با انتگرال‌گیر کنترل‌کننده هستند اجرا می‌شوند. آن‌ها در توسعه و تجزیه و تحلیل سامانه‌های بسیار مؤثر هستند (۱۹).

در این مطالعه از کنترل‌گرهای فازی در محیط سیمولینک^۱ نرم‌افزار MATLAB جهت انجام محاسبات و شبیه‌سازی رفتار مدل CLD مدیریت پسماند شهر کرمان استفاده شده است.

در کنترلر فازی طراحی شده، دو ورودی در نظر گرفته شده است. ورودی اول «نسبت قیمت‌های رسمی و غیررسمی» و ورودی دوم «درصد فروش جمع‌آوری‌کنندگان مجوز دار به بازار غیررسمی» است. خروجی کنترل‌کننده نیز میزان تغییر لازم در قیمت رسمی است.

این مقدار تغییر قیمت بایستی با قیمت هفته‌ی قبل جمع شود تا قیمت هفته‌ی جاری محاسبه شود. تعداد توابع تعلق تعریف شده برای هر ورودی شش عدد و تعداد توابع تعلق تعریف شده برای خروجی نیز هفت تابع تعریف شده است.

کاهش دهند. این کار نه تنها در کاهش هزینه‌های شهری مؤثر است، بلکه به حفظ منابع طبیعی و کاهش آلودگی محیط زیست کمک می‌کند.

در سناریوی مورد مطالعه، مجوز با سقف مشخصی توسط سازمان مدیریت پسماند شهرداری کرمان تعریف می‌شود. واحدهای غیررسمی موظف به خرید این مجوز هستند. به ازای پسماند جمع‌آوری شده توسط این افراد و تحویل آن به سازمان مدیریت پسماند از مبلغ مجوز کاسته شده و بعد از رد کردن سقف مجوز می‌توانند مابقی پسماندها را به کارگاه‌های غیررسمی بفروشند. همچنین، امکان فروش به کارگاه‌های غیررسمی قبل از رد کردن سقف مجوز هم امکان‌پذیر است ولی در ازای آن مشمول تخفیف کمتری می‌شوند. ضمناً بعد از رد کردن سقف مجوز هم می‌توانند به شهرداری نیز بفروشند. فرض بر منصفانه بودن مبلغ خرید از ناوگان غیررسمی است که فشاری بر ناوگان غیررسمی جهت انتخاب بین شهرداری کرمان و کارگاه‌های غیرمجاز نباشد. حتی ناوگان غیررسمی می‌تواند با خرید مجوز تعریف شده کلیه پسماند خود را به کارگاه‌ها غیرمجاز تحویل داده و از تخفیف‌های مجوز استفاده نکند.

در سناریوی مورد مطالعه هدف، ایجاد ارتباط با رویکرد برد-برد بین شهرداری کرمان و چرخه غیررسمی مدیریت پسماند است به نحوی که هر دو سود کرده و منافع اقتصادی و اجتماعی آن‌ها تأمین شود. در کنار سود این دو نهاد، مزایای بسیاری نیز برای شهروندان نیز با توجه به ساماندهی چرخه غیررسمی و افزایش نظارت بر آن‌ها ایجاد می‌شود. لازم به ذکر است، واحد نظارت شهرداری موظف به نظارت بر جمع‌آوری کنندگان پسماند است و خرید مجوز برای آن‌ها الزامی است. قیمت مجوز به گونه‌ای بایستی تعریف شود که تحویل پسماند با ارزش بازیافتی به شهرداری کرمان برای جمع‌آوری کنندگان و استفاده از تخفیف‌های آن توجیه‌پذیر باشد.

به عبارت دیگر فرضیاتی که برای ترسیم سناریوی پیشنهادی می‌توان در نظر گرفت در ادامه آمده است:

۱. ناوگان غیررسمی جهت فعالیت در حوزه فعالیت در جمع‌آوری پسماندهای با ارزش بازیافتی بایستی مجوز لازم را از شهرداری دریافت نماید.

۲. واحدهای جمع‌آوری پسماند غیررسمی که مجوز دریافت نکنند بر اساس قوانین ساماندهی مشاغل آلاینده و دستورالعمل ساماندهی دورگردها در سطح شهر، توسط واحد نظارت شهری شهرداری از فعالیت آن‌ها جلوگیری می‌شود.

۳. ناوگان غیررسمی جمع‌آوری پسماند هیچ الزامی برای فروش پسماندهای با ارزش بازیافتی به شهرداری ندارند.

۴. قیمت صدور مجوز برای فعالیت ناوگان غیررسمی جمع‌آوری پسماند ثابت نیست و بر اساس میزان پسماند فروخته شده به شهرداری مشمول تخفیف می‌گردد.

۵. به ازای فروش پسماند ناوگان غیررسمی جمع‌آوری پسماند به شهرداری میزان تخفیف اخذ شده در مجوز دوره زمانی بعد لحاظ می‌گردد و تا ۱۰۰ درصد مبلغ مجوز می‌تواند شامل تخفیف شود.

۶. قیمت خرید شهرداری از ناوگان غیررسمی جمع‌آوری پسماند به صورت منصفانه، رقابتی نسبت به سایر کارگاه‌های خرید پسماند در سطح شهر و تعیین قیمت به صورت شناور انجام می‌شود.

فرضیات ذکر شده، وضعیت جدیدی را در سیستم مدیریت پسماند شهر کرمان به وجود خواهند آورد که می‌تواند نتایج متفاوتی را بر اساس شرایط مختلف بازیگران ایجاد نماید. در ادامه به معرفی بازیگران و فرایندهای اصلی مدنظر جهت ترسیم مدل CLD در سناریوی پیشنهادی پرداخته شده است.

مدل CLD وضعیت موجود مدیریت پسماند در شهر کرمان

مدل CLD وضعیت سناریوی پیشنهادی سیستم مدیریت پسماند در شهر کرمان را به صورت نشان داده شده در شکل ۱ ترسیم کرد. در شکل ۱ حلقه‌های علی و معلولی بین واحدها و ذینفعان نشان داده شده است. همچنین جهت اثرگذاری عوامل بر یکدیگر (جهت پیکان‌ها از علت به سمت معلول است) و نوع اثرگذاری (مثبت یا منفی / تقویت کننده یا کاهنده) در کنار پیکان‌ها مشخص و متغیرها و بازیگران

جدید بر اساس سناریوی پیشنهادی به رنگ قرمز اضافه شده است.

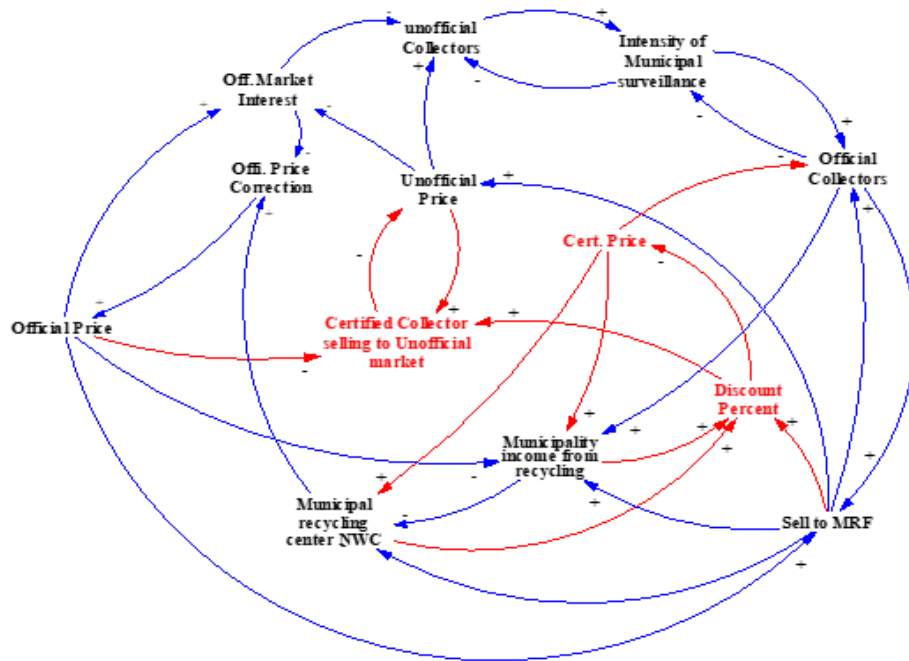
در سناریوی پیشنهادی با جذب هر چه بیشتر چرخه غیررسمی به رسمی و همکاری سازنده با شهرداری، چرخه اقتصاد رسمی مدیریت پسماند شهری بهبود یافته و در کنار آن دست‌آوردهای مانند بهبود کیفیت محیط زیست، کاهش هزینه‌های تحمیلی به شهرداری و رضایت شهروندان نیز

افزایش می‌یابد. همچنین، این موضوع بستری برای ارائه امکانات و خدمات اجتماعی مانند بیمه تأمین اجتماعی، ارتقای ایمنی شغلی، تخصصی کردن مشاغل و ... به افراد جدید جذب شده به چرخه رسمی می‌شود.

در جدول ۱ اجزای سیستم CLD و بازیگران اصلی به اختصار توضیح داده شده است. همچنین، سعی شده است توضیحاتی درباره جزئیات اصلی رفتاری و شرایطی که در ترسیم سناریوی مورد نظر نیاز است ارائه شود.

جدول ۱. معرفی بازیگران و ذی‌نفعان مدل

نام بازیگر/ذی‌نفع	توضیحات
جمع‌آوری کننده رسمی (Official collectors)	پیمانکاران معتبر شهرداری که با آن قرارداد قانونی دارند یا دارندگان مجوز رسمی برای فعالیت در شهر. این افراد باید استانداردهای مشخصی در زمینه‌های ایمنی، بهداشت و محیط زیست را رعایت کنند و عملکردشان تحت نظارت دقیق شهرداری است. فعالیت‌های مالی آن‌ها طبق قوانین مالی کشور انجام می‌شود.
جمع‌آوری کننده غیررسمی (Unofficial collectors)	افرادی که بدون مجوز شهرداری، پسماندهای با ارزش بازیافتی را از سطح شهر جمع‌آوری می‌کنند. این گروه معمولاً استانداردهای ایمنی، بهداشت و محیط زیست را نادیده می‌گیرند و در فرآیندهای خود به محیط زیست آسیب می‌زنند، مانند بازگردن کسبه‌های پسماند و رهاکردن باقی‌مانده‌ها که منجر به افزایش آلودگی و هزینه‌های شهرداری می‌شود. فعالیت‌های مالی آن‌ها نیز خارج از چرخه‌های رسمی است و بدون نظارت رسمی انجام می‌پذیرد.
شدت نظارت شهرداری (Intensity of Municipal surveillance)	یک واحد در ساختار شهرداری‌ها برای نظارت بر مشاغل آلاینده و واحدهای صنعتی غیرمجاز فعال است. این واحد بر جمع‌آوری‌های غیراصولی و غیربهداشتی پسماندها نظارت دارد. شدت عمل این واحد به دلیل نبود راهکارهای مناسب برای ساماندهی جمع‌آوری‌کنندگان پسماند در حداقل است. افزایش نظارت بدون ارائه جایگزین‌های مناسب می‌تواند به تارهای اجتماعی منجر شود.
قیمت رسمی (Official price)	قیمتی که واحد بازیافت شهرداری برای خرید اقلام پالارزش بازیافتی تعیین می‌کند. این قیمت بر اساس ارزش واقعی مواد و به صورت شاور و رقابتی محاسبه می‌شود.
قیمت غیررسمی (Unofficial price)	قیمتی که کارگاه‌های غیرمجاز بازیافت برای خرید اقلام پالارزش بازیافتی در نظر می‌گیرند. این قیمت معمولاً نسبت به قیمت رسمی جذابیت بیشتری دارد.
جذابیت بازار رسمی (Official market interest)	این مفهوم به شرایطی اشاره دارد که در آن جمع‌آوری‌کنندگان پسماند پالارزش بازیافتی (به عنوان واحدهای خصوصی و مستقل) ترغیب می‌شوند پسماندهای خود را به شهرداری تحویل دهند. جذابیت بازار رسمی می‌تواند تحت تاثیر عواملی مانند اختلاف قیمت با بازار غیررسمی، سرعت تسویه حساب، تنوع محصولات خریداری شده، خدمات بیمه و سابقه کار باشد. برای افزایش این جذابیت، استفاده از تشویق‌ها و محدودیت‌های تنبیهی پیشنهاد می‌شود، ضمن اینکه نقش نظارت شهرداری نیز قابل چشم‌پوشی نیست.
اصلاح قیمت رسمی (Official price correction)	سازمان مدیریت پسماند شهرداری موظف به تنظیم قیمت‌های پسماندهای پالارزش بازیافتی است. این فرایند قیمت‌گذاری باید به گونه‌ای باشد که تناوب کار را تضمین کند و قیمت‌ها رقابتی با واحدهای غیررسمی و صدمات غیرمجاز در شهر باقی بماند. قیمت‌گذاری باید شاور و مطابق با قیمت روز مواد بازیافتی، اصول مدیریت بازار و فروش، شرایط عرضه و تقاضا، و همچنین رعایت انصاف انجام شود تا افراد جذب شده به چرخه رسمی حفظ شوند.
درآمد شهرداری از بازیافت (Municipality income from recycling)	درآمد حاصل از فروش مواد بازیافتی شامل سود فروش مجوز، اختلاف قیمت فروش به صنایع تبدیلی یا خریداران مجاز، و سود حاصل از عملیات واحد MRF است. این سود از تفاوت قیمت خریداری پسماند بازیافتی از واحدهای رسمی و غیررسمی و فروش آن به بازارهای مربوطه حاصل می‌شود.
فروش به واحد پردازش مکانیکی (Sell to MRF)	در زمینه مدیریت پسماند، شهرداری کرمان دارای زیرساخت‌های لازم برای بهره‌برداری از واحد پردازش مکانیکی است. غرقه‌های بازیافتی و سایر واحدهای رسمی در سطح شهر، مواد بازیافتی خود را مستقیماً برای پردازش به واحد MRF تحویل می‌دهند. در این واحد، پسماندهای مخلوط پردازش شده و به صورت مواد پالارزش بازیافتی تفکیک شده خروجی می‌یابند.
سرمایه در گردش مرکز بازیافت و خرید پسماند شهرداری (NWC)	شهرداری باید سرمایه‌ی گردش کافی برای رقابت با بازارهای غیررسمی پسماند داشته باشد تا بتواند پسماندها را روزانه از واحدهای غیررسمی و دیگر فروشندگان خریداری کند. نظارت دقیق و کارآمد بر این سرمایه ضروری است. همچنین، پرداخت‌ها و گردش مالی باید سریع و بدون دخالت بروکراسی اداری و قوانین زمان‌بر شهرداری انجام شود تا شهرداری بتواند بخش قابل‌توجهی از سهم بازار را به دست آورد و رقابت‌پذیر باقی بماند.
قیمت مجوز (Certification Price)	واحد بازیافت شهرداری باید قیمت مجوز ماهانه فعالیت ناوگان غیررسمی جمع‌آوری‌کنندگان پسماند پالارزش بازیافتی را تعیین کند. این قیمت باید به گونه‌ای باشد که جذابیت لازم برای جمع‌آوری‌کنندگان غیرمجاز را فراهم آورد تا به شهرداری مراجعه کرده و مجوز را دریافت کنند. همچنین، در کنار فشارهای نظارتی، باید اطمینان حاصل شود که ناوگان غیررسمی قادر به خرید مجوز باشند. قیمت‌گذاری مجوز باید به گونه‌ای انجام شود که ناوگان غیررسمی تمایل بیشتری به فروش پسماندهای جمع‌آوری شده خود به شهرداری داشته باشد، به‌ویژه با تخفیف‌های مجوز که انگیزه فروش به شهرداری را افزایش می‌دهد.
درصد تخفیف (Discount Percent)	تخفیف خرید مجوز به‌صورت ماهیانه برای دارندگان مجوز فعال اعطا می‌شود. این تخفیف ممکن است تا ۱۰۰ درصد قیمت مجوز ماه بعد را پوشش دهد.



شکل ۱. مدل CLD پیشنهادی مدیریت پسماند در شهر کرمان

است و می‌تواند با تغییر فرضیات، تغییر رفتار یا نقش ذینفعان فعلی و ورود بازیگران جدید (مانند صنایع تبدیلی یا فرایندهای تبدیل پسماند به انرژی) تغییرات اساسی در چرخه علی معلولی ایجاد شود و لازم است به‌ازای هر تغییر فرضیات مدل مجدداً تعریف و کنترل شوند.

❖ در مدل پیشنهادی ۸ هفته زمان تاخیر جهت وصول درآمد شهرداری از فروش به صنایع بالادستی در نظر گرفته شده است.

❖ در مدل پیشنهادی فرض شده است که هزینه صدور مجوز به‌صورت ماهانه و در انتهای ماه دریافت می‌گردد. به‌بیان دیگر، در هفته‌ی اول شروع برنامه پیشنهادی هیچ مبلغی بابت صدور مجوز توسط شهرداری دریافت نمی‌شود و پس از گذشت ۴ هفته، برای تمدید مجوز فعالیت، این مبلغ (با احتساب تخفیف مبتنی بر عملکرد) از جمع‌آوری کنندگان دارای مجوز اخذ می‌گردد.

❖ جمعیت کل افراد جمع‌آوری کننده پسماندهای بازیافتی به‌صورت میانگین تعداد ۵۰۰ نفر (به‌صورت ثابت) در نظر گرفته شده

کمی‌سازی مدل پیشنهادی برای قیمت مجوز معادل ده میلیون ریال (معادل ۱,۰۰۰,۰۰۰ تومان) انجام شده است. اطلاعات مورد استفاده برای روابط بین ذینفعان و متغیرهای مدل بر اساس اطلاعات آماری سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ شهر کرمان و برخی اطلاعات کسب‌شده از تجربیات و مصاحبه‌های صورت گرفته با خبرگان به‌دست آمده است که در پیوست اطلاعات آن ارائه شده است. در ادامه ابتدا مدل CLD توسعه داده شده در نرم‌افزار Matlab به‌اختصار ارائه شده و سپس نتایج مربوط به هر سناریو به تفصیل ارائه شده است.

مدل CLD توسعه داده شده در نرم‌افزار MATLAB

برخی از فرضیات مدل در ادامه مورد بحث قرار گرفته است:

❖ قیمت بازار غیررسمی طبق میانگین گرفته شده از ۳ کارگاه فعال در شهر کرمان در بهار ۱۴۰۲ به دست آمده است. این نرخ‌ها یک بازه تغییرات دارند که عمدتاً به دلیل رقابت‌های محلی، کیفیت بار مواد جمع‌آوری شده، چانه‌زنی و تخفیف به افراد جمع‌آوری کننده بستگی دارد.

❖ لازم به ذکر است مدل CLD استفاده شده صرفاً یک حالت از شرایط واقعی و میدانی

جمع‌آوری‌کنندگان مجوزدار بیشتر باشد، شدت نظارت نیز بیشتر خواهد بود.

❖ حداکثر تغییرات قیمت رسمی در هفته ۲۵۰ تومان در نظر گرفته شده است.

❖ جمع‌آوری‌کنندگان رسمی (مجوزدار) می‌توانند درصدی از پسماندهای جمع‌آوری‌شده خود را به بازار غیررسمی بفروشند. مقدار فروش این جمع‌آوری‌کنندگان به بازار غیررسمی متناسب با جذابیت قیمت بازار رسمی تغییر می‌کند. جذابیت قیمت رسمی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$(1) \quad \left(1 + \ln \left(\frac{\text{Official price} + \text{Discount percentage} \times \text{License price}}{\text{Unofficial price}} \right) \right)^2$$

کنترل‌کننده^۱ که بارنگ سبز نشان داده شده است، در حقیقت واحد تصمیم‌ساز شبیه‌سازی ما است که بر اساس منطق فازی و با استفاده از قیمت رسمی و قیمت غیررسمی^۲ و همچنین درصد فروش جمع‌آوری‌کنندگان مجوزدار به کارگاه‌های غیررسمی، تغییرات قیمت هر هفته را محاسبه می‌کند. اجزای بلوک کنترل‌کننده در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

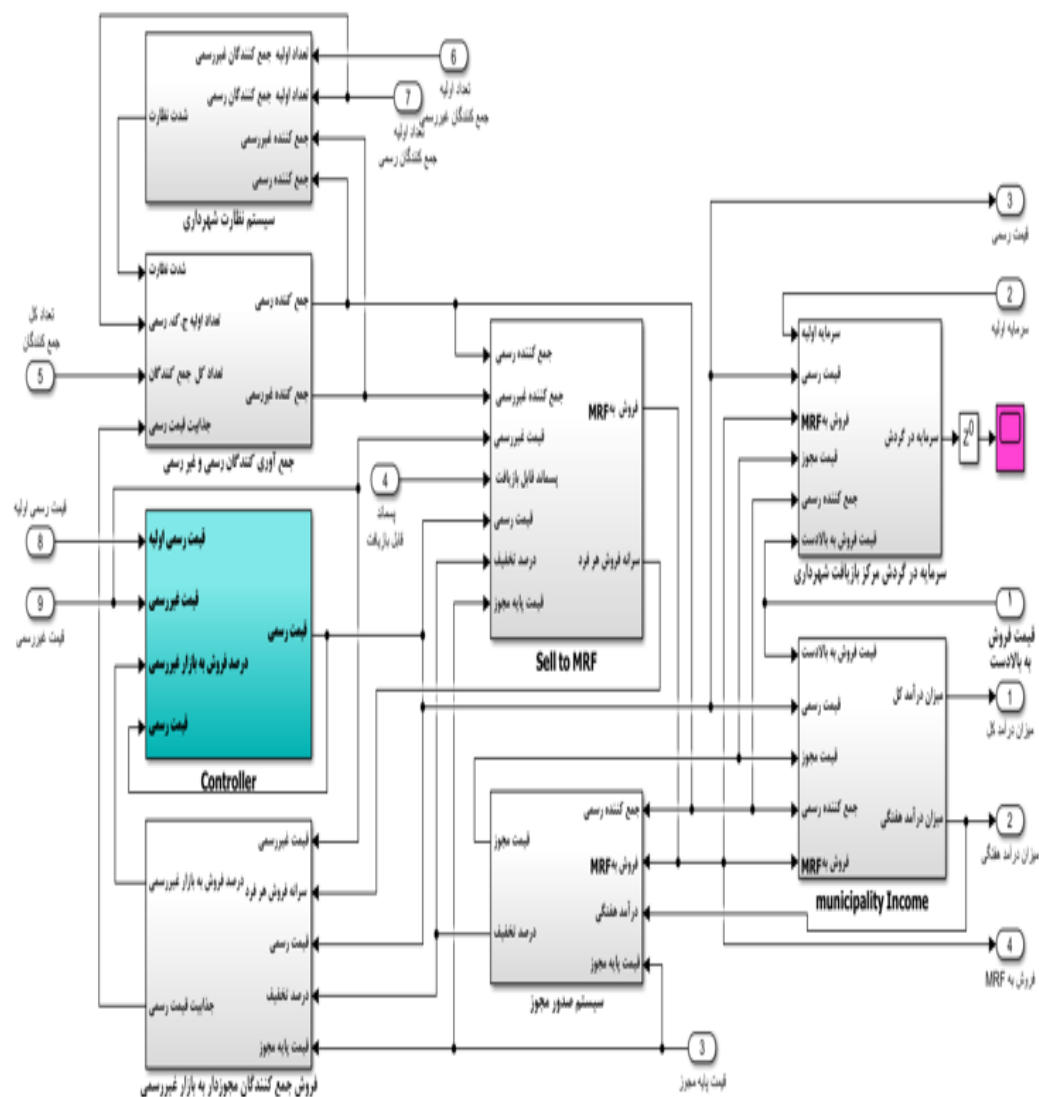
است که می‌توان این عدد را بر اساس مطالعات میدانی به‌دقت بیشتری تخمین زد. همچنین در هفته اول اجرای برنامه تعداد اولیه جمع‌آوری‌کنندگان مجوزدار ۵۰ نفر (معادل ۱۰ درصد کل جمع‌آوری‌کنندگان) و تعداد جمع‌آوری‌کنندگان بدون مجوز ۴۵۰ نفر در نظر گرفته شده است.

❖ شدت نظارت واحد نظارت شهری شهرداری متناسب با تعداد جمع‌آوری‌کنندگان بدون مجوز است و هرچه نسبت تعداد جمع‌آوری‌کنندگان بدون مجوز به

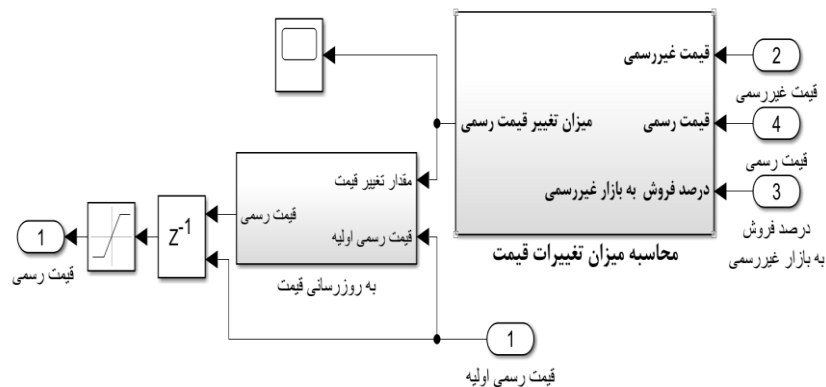
به‌منظور شبیه‌سازی سیستم مدیریت پسماند شهر کرمان، مدل شبیه‌سازی مطابق با شکل‌های ۲ الی ۳ در سیمولینک نرم‌افزار MATLAB تهیه و اجرا شده است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌کنید، مدل سیستم مدیریت پسماند در بلوک خاکستری رنگ تهیه شده است و در حقیقت این بلوک، بخش مرکزی شبیه‌سازی است. اجزای داخلی این بلوک در شکل ۲ نشان داده شده است. زیرسیستم‌های تشکیل‌دهنده مدل CLD سیستم مدیریت پسماند شهر کرمان در شکل ۳ نشان داده شده است. بلوک

^۲ - نسبت قیمت رسمی به قیمت غیررسمی به عنوان ورودی کنترل‌کننده فازی استفاده شده است

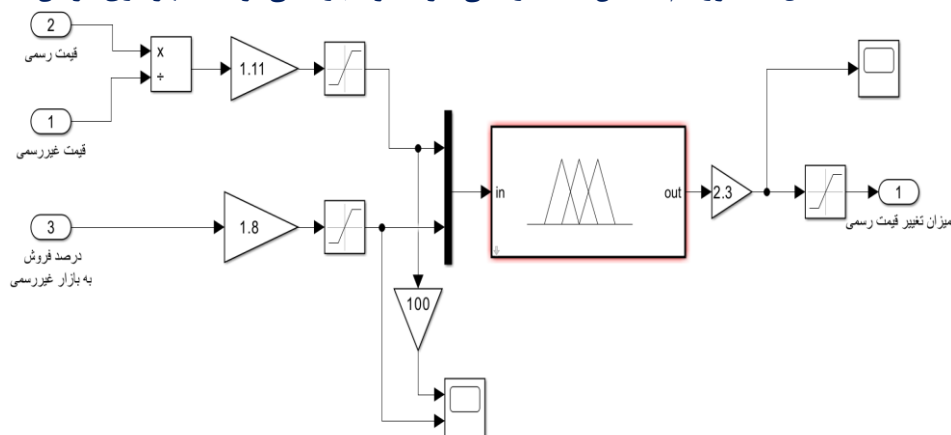
^۱ Controller



شکل ۳. الگوریتم جریان پسماند و سناریوی مجوزهای مالی جمع‌آوری‌کنندگان پسماند در شهر کرمان



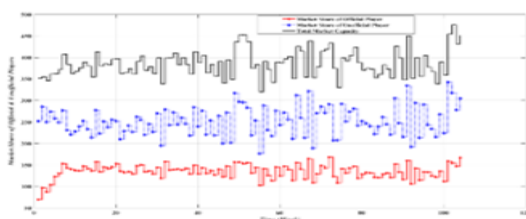
شکل ۱. الگوریتم تخمین قیمت رسمی خرید مواد بازیافتی توسط شهرداری کرمان



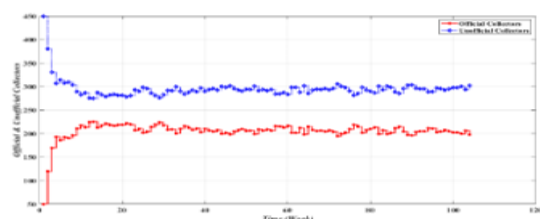
شکل ۲. الگوریتم تعیین میزان تغییرات قیمت رسمی خرید مواد بازیافتی توسط کنترل گر فازی

مصاحبه‌های صورت گرفته با کارشناسان شهرداری کرمان به‌دست‌آمده است. در ادامه نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی انجام‌شده توسط مدل CLD در نرم‌افزار MATLAB در شکل ۶ ارائه‌شده است.

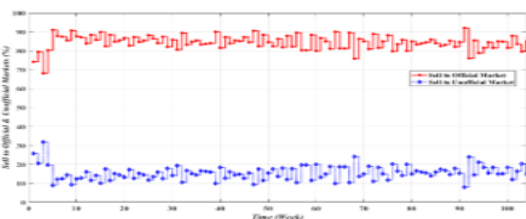
در این شبیه‌سازی قیمت مجوز ده میلیون ریال و معادل یک‌میلیون تومان در نظر گرفته‌شده است. همچنین فرض شده است تعداد جمع‌آوری‌کنندگان مجوزدار در شروع کار برابر ۵۰ نفر (۱۰ درصد کل جمع‌آوری‌کنندگان) است. تعداد کل جمع‌آوری‌کنندگان بر اساس آمارهای تقریبی از



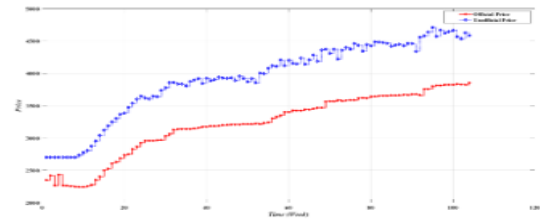
ب) سهم شهرداری و کارگاه‌های غیررسمی از بازار پسماند شهر کرمان



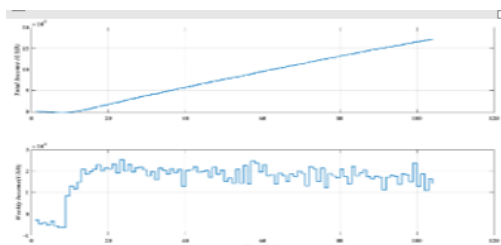
الف) تعداد جمع‌آوری‌کنندگان مجوز دار و بدون مجوز



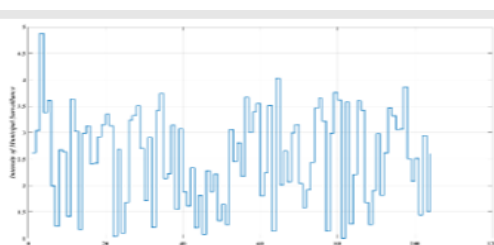
د) درصد فروش بازیافت جمع‌آوری‌شده توسط افراد مجوز دار به بازارهای رسمی و غیررسمی



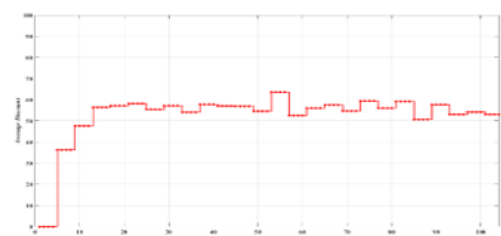
ج) قیمت خرید پسماند مخلوط در بازار غیررسمی و شهرداری



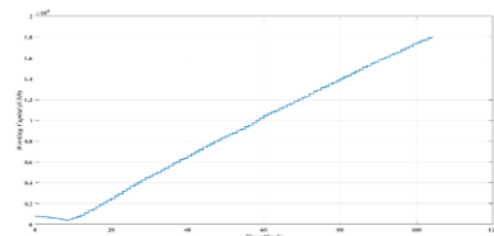
ی) درآمد هفتگی و درآمد کل شهرداری از بازیافت



ه) شدت نظارت شهرداری



خ) میانگین درصد تخفیف تمدید مجوز اعطاشده به جمع‌آوری‌کنندگان



و) سرمایه در گردش شهرداری

شکل ۶. نتایج مدل برای مجوز با قیمت ده میلیون ریال

بحث

و با استفاده از کنترل‌گر فازی برای تعیین نرخ خرید مواد بازیافتی توسط شهرداری کرمان وضعیت رفتار سیستم بررسی شود.

در این مطالعه سعی شده تا بر اساس شبیه‌سازی رفتار و شبکه ارتباطی متغیرها و بازیگران اصلی در نرم‌افزار MATLAB بر اساس روابط به‌دست‌آمده از مدل CLD

نتیجه‌گیری

مطابق نتایج وجود ابزار مجوز فعالیت تاثیر بسیار زیادی بر سهم شهرداری خواهد داشت. با این حال به دلیل پرهیز از اعتراضات گسترده و عدم استقبال از طرح، پیشنهاد

می‌گردد در شروع اجرای طرح، با قیمت پایین‌تر عمل شود و شدت نظارت را تا حداکثر میزان ممکن افزایش داد تا درصد زیادی از جمع‌آوری‌کنندگان ملزم به دریافت مجوز فعالیت شوند. لازم به ذکر است علاوه بر افزایش سود مالی شهرداری از طریق گسترش سهم بازار پسماند، صدور مجوز فعالیت می‌تواند اثرات مثبت اجتماعی و همچنین زیست‌محیطی در برداشته و نظارت بر روند فعالیت افراد را بهبود بخشد.

تشکر و قدردانی: بدین‌وسیله از تمامی افرادی که ما را در انجام این پژوهش یاری کرده‌اند تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

تعارض منافع: هیچ گونه تضاد منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

حمایت مالی: این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره (شماره قرارداد منعقد شده) ۲۵۰۰ / ۰۱ با استفاده از اعتبارات پژوهشی- پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران انجام شده است.

ملاحظات اخلاقی: نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند و هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند. همچنین با توجه به نوع ماهیت مطالعه نیاز به دریافت کد اخلاق نمی‌باشد.

References

1. Rupani, P.F., et al., Current status and future perspectives of solid waste management in Iran: a critical overview of Iranian metropolitan cities. Environmental Science and Pollution Research, 2019; 26 (32): 32777-32789. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06456-5> PMID:31520387
2. Jalalipour, H., et al., Adoption of sustainable solid waste management and treatment

با مشاهده نتایج شبیه‌سازی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ابزار مجوز مالی همراه با تخفیف بر اساس میزان فروش به شهرداری، نتایج مثبتی برای شهرداری در پی خواهد داشت. این موضوع به‌خوبی در قیمت‌گذاری مجوز معادل یک‌میلیون تومان مشاهده می‌شود که سهم ناچیز شهرداری از باز یافت (کمتر از پنج درصد) را به ۳۷/۵ درصد از کل بازار می‌رساند. نباید فراموش کرد که اگرچه این قیمت مجوز منجر به در اختیار گرفتن ۳۷/۵ درصد از بازار می‌شود، ولی در عمل ممکن است تصویب این رقم به‌عنوان قیمت مجوز موجب نارضایتی‌هایی از سوی مردم شود که توفیق این ابزار را با چالش شدیدی روبرو نماید. اگرچه در نتایج شبیه‌سازی به‌طور متوسط حدود ۵۵٪ تخفیف به جمع‌کنندگان مجوزدار اعطا می‌گردد که رقم پرداختی برای مجوز را به ۴۵۰ هزار تومان در ماه کاهش می‌دهد. ولی با این وجود در زمان شروع برنامه که شناخت کافی از این روند برای جمع‌کنندگان که عمدتاً افراد محروم و فقیر جامعه هستند، وجود ندارد، ممکن است باعث نارضایتی و آشوب شود یا اینکه مورد استقبال قرار نگیرد و با مشارکت پایینی روبرو شود. از نتایج شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که طبق این قیمت مجوز، میزان فروش جمع‌آوری‌کنندگان مجوزدار به بازار غیررسمی کاهش در حدود ۱۵ درصد خواهد بود و با فروش بیشتر به شهرداری می‌توانند از درصد تخفیف بالاتری بهره‌مند شوند. پس از آشنا شدن جمع‌آوری‌کنندگان با روند اجرایی طرح و شکل گرفتن اعتماد بین آن‌ها و شهرداری، در سال دوم می‌توان قیمت مجوز را بر اساس مطالعاتی که بر روی نتایج اجرا شده انجام می‌شود، تعیین نمود. علاوه بر این با مطالعه قیمت بازار رسمی و شناخت روند قیمت‌گذاری آن‌ها در یک فرآیند رقابتی، می‌توان الگوریتم فازی و قواعد اگر-آنگاه استفاده‌شده را بهبود بخشید و همچنین از الگوریتم‌های مبتنی بر تئوری بازی نیز استفاده نمود.

approaches: A case study of Iran. Waste Management & Research, 2021;39 (7):975-

984.

<https://doi.org/10.1177/0734242X20978300>
PMid:33327885

3. Abduli, M.A., H. Tavakolli, and A. Azari, Alternatives for solid waste management in Isfahan, Iran: a case study. Waste Management & Research, 2013;31 (5):532-537.

<https://doi.org/10.1177/0734242X13477718>
 PMid:23444149

4. Kamarehie, B., et al., Qualitative and quantitative analysis of municipal solid waste in Iran for implementation of best waste management practice: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020;27 (30):37514-37526. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10104-8> PMid:32729041
5. Damghani, A.M., et al., Municipal solid waste management in Tehran: Current practices, opportunities and challenges. *Waste management*, 2008;28 (5):929-934. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.06.010> PMid:17881212
6. Vahidi, H., R. ArabAbadi, and M. SoltaniNejad, Selecting the most suitable method of converting waste into energy using Fuzzy Vikor-AHP models, Case study Kerman Municipality. 2023.
7. Wikurendra, E.A., N.S. Abdeljawad, and I. Nagy, A Review of Municipal Waste Management with Zero Waste Concept: Strategies, Potential and Challenge in Indonesia. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2023;14 (2). <https://doi.org/10.18178/ijesd.2023.14.2.1427>
8. Tarannum, N., N. Kumar, and K. Pooja, Zero Waste as an Approach to Develop a Clean and Sustainable Society, in *Handbook of Smart Materials, Technologies, and Devices: Applications of Industry 4.0*. 2022;381-423. https://doi.org/10.1007/978-3-030-84205-5_17
9. Zaman, A.U., Measuring waste management performance using the 'Zero Waste Index': the case of Adelaide, Australia. *Journal of Cleaner Production*, 2014;66:407-419. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.032>
10. Budimana, A., Technological evaluation of municipal solid waste management system in Indonesia. *Energy Procedia*, 2017;105:263-269. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.312>
11. Van Fan, Y., et al., Implementing Circular

Economy in municipal solid waste treatment system using P-graph. *Science of The Total Environment*, 2020;701:134652.

- <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134652> PMid:31734490
12. Babalola, M.A., A system dynamics-based approach to help understand the role of food and biodegradable waste management in respect of municipal waste management systems. *Sustainability*, 2019;11 (12):3456. <https://doi.org/10.3390/su11123456>
13. Tong, Y.D., T.D.X. Huynh, and T.D. Khong, Understanding the role of informal sector for sustainable development of municipal solid waste management system: A case study in Vietnam. *Waste Management*, 2021;124:118-127. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.01.033> PMid:33611156
14. Haraldsson, H.V., S. Belyazid, and H.U. Sverdrup, Causal Loop Diagrams-promoting deep learning of complex systems in engineering education. *Pedagogiska inspirationskonferensen-Genombrottet*, 2006.
15. Blair, C., et al., A Systems Framework for International Development: The Data-Layered Causal Loop Diagram. *Production and Operations Management*, 2021;30 (12):4374-4395. <https://doi.org/10.1111/poms.13492>
16. Lambraki, I., et al., Antimicrobial Resistance in South East Asia: A Participatory Systems Modelling Approach. *International Journal of Infectious Diseases*, 2022;116:S14. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.12.033>
17. Jones, L., Vensim and the development of system dynamics. *Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making*, 2014;215-247. <https://doi.org/10.1002/9781118762745.ch11> PMCID:PMC4085475
18. Driankov, D., H. Hellendoorn, and M. Reinfrank, An introduction to fuzzy control. 2013: Springer Science & Business Media.
19. Kovacic, Z. and S. Bogdan, Fuzzy controller design: theory and applications. 2018; CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420026504>