فصلنامه نوآوری در مهندسی و تکنولوژی شماره ۲- دوره ۲- صفحات۴۲۸-۴۱۱
Journal of Innovation in Engineering and Technology
ISSN 3060-6098

بهینه سازی سیستم مدیریت پسماند و جمع آوری هوشمند زباله در مجتمع های تجاری و تفریحی بزرگ با اینترنت اشیا (مطالعه موردی: مرکز خرید ایران مال، تهران)

سپیده گوهری
۱-دانشجوی دکتری معماری سیتمهای پیشرفته و هوش مصنوعی (تخصص کاربرد هوش مصنوعی در پزشکی وگرایش های مختلف) واستاد حق التدریس دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال ایران

چکیده

یکی از بزرگترین مشکلاتی که در جهان کنونی با آن روبرو هستیم مدیریت پسماند و زباله است. با نگاهی به آمارهای موجود پیش بینی می شود حجم زباله های تولید شده در جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۳/۴۰ میلیارد تن برسد. بسیاری از کشورها در حال حاضر به دنبال این هستند که چگونه این مقدار از زباله ها را بازیافت کنند. یکی از چالش برانگیزترین جنبه های مدیریت هر شهر یا جامعه ای، مدیریت پسماند حاصل از کالاهای مصرف شده توسط مصرف کنندگان کالاها، مشاغل و بخش دولتی است.این حجم از زباله هر ساله شامل ۲۳۰ میلیون تن زباله و مواد دور ریختنی می باشد. در حالی که تلاشهای بخصوصی برای کاهش استفاده از بخشی از مواد های به کار رفته در بسته بندی کالاها درنهایت ممکن است میزان زباله های تولید شده را به مرور زمان کاهش دهد، همه جوامع تولید زباله را ادامه داده و ادامه خواهند داد. زباله به عنوان ترکیبی از مواد قابل بازیافت ، موادی که برای دفن زباله ها تعیین شده اند و موادی که باید با توجه به محتویات آنها به دقت دفع شوند تعریف شده است

کلمات کلیدی : اینترنت اشیا , بهینه سازی مدیریت پسماند, هوشمند سازی جمع آوری زباله ها , روش هوش مصنوعی یادگیری ماشین

مدیریت این ضایعات از قدیم الایام از طریق یک فرآیند دستی انجام میشده است اما هوش مصنوعی (AI)در برخی جوامع برای کاهش نیروی انسانی مورد نیاز برای این کار و در نتیجه کاهش هزینه های مربوط به مدیریت و فرآوری زباله ها در حال استفاده است. با ترکیب انواع فن آوری ها، از جمله یادگیری ماشین (ML) ، یادگیری عمیق (DL) و دید رایانه ای ، تعدادی راه حل ارائه شده است که به احتمال زیاد باعث بهبود کارایی و بهره وری در مدیریت پسماند می شوند

کلمات کلیدی: اینترنت اشیا، بهینه‌سازی مدیریت پسماند، جمع‌آوری هوشمند زباله، روش‌های هوش مصنوعی.

مقدمه

طبقه بندی زباله ها

یکی از راه های استفاده از هوش مصنوعی ، آموزش ربات های مرتب سازی زباله است که می توانند در محل دفن زباله ها استفاده شوند. به جای نیاز به مرتب سازی زباله ها توسط کارگران، این ربات ها با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین برای شناسایی و پردازش زباله ها بر اساس نوع زباله ها آموزش می بینند. این الگوریتم ها بر اساس تصاویری از انواع ضایعات مختلف به ربات ها آموزش داده می شوند. با استفاده از دید رایانه ای، روبات ها می توانند زباله ها را مشابه همان روشی که انسان ها زباله ها را با یکدیگر مقایسه می کنند، بر اساس ویژگی های خاص مرتب کنند. از همه مهم تر، ماشین ها با گذشت زمان به یادگیری خود ادامه می دهند و از انسان کارآمد بیشتری نسبت به انسان بدست می آورند.

به عنوان مثال ، SamurAI، یک نوآوری رباتیک توسعه یافته توسط Machinexکه در کنفرانس Waste Expo ۲۰۱۸ نمایش داده شد، می تواند از هوش مصنوعی برای شناسایی مواد قابل بازیافت مانند کارتن، بطری های پلاستیکی و ظروف استفاده کند. سپس این روبات از یک محفظه مکش برای برداشتن آن زباله استفاده کرده و آن را درون سطل متناسب با جنس آن زباله قرار می دهد. طبق گفته این شرکت، SamurAIمی تواند در هر دقیقه حداکثر ۷۰ زباله را برداشته و در زباله دان مناسب قرار دهد، مقداری دو برابر بیشتر از آن چیزی که انسانها میتوانند بردارند.

طبق گفته این شرکت، SamurAIمی تواند در هر دقیقه حداکثر ۷۰ زباله را برداشته و در زباله دان مناسب قرار دهد، مقداری دو برابر بیشتر از آن چیزی که انسانها میتوانند بردارند. این فناوری میتواند کار دو نفر نیروی انسانی را انجام دهد و شرکت را قادر می سازد تا حدود ۱۳۰،۰۰۰ دلار در سال پس انداز کند.

سطل های زباله هوشمند

سطل های زباله هوشمند به سنسورهای دید رایانه ای مجهز شده اند تا بتوانند نوع زباله هایی که به داخل آن ها انداخته میشود را شناسایی کنند. به عنوان مثال ، سیستمی که توسط کمپانی Bine.eساخته شده است از الگوریتم های یادگیری ماشین برای آموزش سیستم طراحی شده این کمپانی جهت شناسایی و طبقه بندی نوع زباله های دور ریخته شده در زباله ها استفاده می کند و پس از آن زباله ها را بر اساس نوع به سطل های متناسب با آن ها انداخته می شوند. به این ترتیب، همه مرتب سازی ها با دفع زباله انجام می شود و نیاز به مرتب سازی انبوهی از زباله ها در مرکز پردازش زباله از بین می رود.

علاوه بر این، سیستم می تواند وقتی پر شدن سطل زباله را تشخصی دهد و بدین وسیله باعث شود برنامه زمانبندی مجموعه بهینه شود. به جای ارسال کامیون های جمع آوری زباله طبق یک برنامه از پیش تعیین شده، هنگامی که سطل ها تا حدی که مشخص شده اند پر می شوند مسیرهای جمع آوری را می توان بهینه سازی کرد تا فقط به مکانهایی که سطل ها پر شده اند کامیون ارسال شود. چنین بهینه سازی باعث افزایش سرعت جمع آوری زباله، کاهش هزینه های نیروی انسانی و کاهش هزینه سوخت می شود.

. طبقه بندی زباله

در حالت ایده آل، زباله ها مانند نمونه فوق در نقطه جمع آوری طبقه بندی می شوند. اما برخی از ضایعات توسط مصرف کننده قابل تفکیک نیستند و برای این کار از توسعه فناوری هوش مصنوعی برای انجام مرتب سازی زباله های دست پایین استفاده می شود. در سال ۲۰۱۹، TOMRAاز فناوری GAIN خود که یک فناوری مرتب سازی مبتنی بر یادگیری عمیق است که برای انجام کارهای مرتبط با مرتب سازی دقیق و با توان بالا طراحی شده است. فناوری GAIN ازیادگیری عمیق برای از بین بردن کارتریج های سیلیکون PE از جریان پلی اتیلن (PE) با استفاده از اطلاعات دید رایانه ای استفاده می کند

جداسازی سیلیکون از کارتریج ها برای اطمینان از خلوص جریان زباله مورد نیاز است. فن آوری GAIN از هزاران نوع تصویر از انواع زباله ها تغذیه می شود و سیستم یادگیری عمیق را برای یادگیری نحوه اتصال نورون های مصنوعی برای طبقه بندی اشیاء به کار می گیرد. بنابراین این فناوری می تواند با سرعت بیشتری انواع مختلف کارتریج های سیلیکون، کارتریج های دوتایی و حتی کارتریج های تغییر شکل داده یا جزئی تخریب شده را شناسایی کند بدون اینکه صریحاً روی تصاویر به تصویر کشیده شده از این اشیاء آموزش داده شده باشد. طبق گفته TOMRA ، سیستم GAIN با استفاده از دو سیستم به کار گرفته شده در یک توالی، توانسته است ۹۹٪ از کارتریج ها را بیرون کشیده است.

بهبود بهره وری و کاهش هزینه های نیروی انسانی

هدف کلی استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت پسماند ها، رسیدگی به زباله در تمامی مراحل آن شامل : دفع در نقطه اولیه، هنگام جمع آوری زباله و در کارخانجات فرآوری زباله می باشد. با استفاده از یادگیری عمیق، یادگیری ماشین و فناوری دید رایانه ای می توان فرآیندهای جمع آوری و مدیریت پسماند را کارآمدتر و مؤثرتر کرد و هزینه های نیروی انسانی مورد نیاز برای انجام این کارها را کاهش داد. موارد اشاره شده از مدیریت پسماند فقط بخشی از استفاده از فناوری هوش مصنوعی است که به احتمال زیاد می تواند توانایی توسعه شهرهای هوشمند را تقویت کند

کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت پسماند و جمع‌آوری زباله‌ها در حال حاضر یکی از حوزه‌های پیشرو و نوآورانه است که به بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها، و حفاظت محیط زیست کمک می‌کند. در ادامه، برخی از اصلی‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در این حوزه آورده شده است:

۱. **شناسایی و دسته‌بندی زباله‌ها**
هوش مصنوعی با استفاده از فناوری‌های بینایی ماشین قادر است نوع زباله‌ها را تشخیص دهد و آن‌ها را به صورت خودکار دسته‌بندی کند. این فناوری در مراکز جمع‌آوری زباله‌ها برای تفکیک مواد قابل بازیافت و غیرقابل بازیافت مفید است.

۲. **بهبود فرآیند جمع‌آوری زباله**
با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده، سیستم‌های هوشمند می‌توانند بهترین مسیرهای جمع‌آوری و زمان‌بندی را پیشنهاد دهند، تا زمان و منابع صرفه‌جویی شود و کاهش ترافیک و هزینه‌ها رقم بخورد.

۳. **پیش‌بینی میزان زباله‌ها**
مدل‌های پیش‌بینی بر پایه هوش مصنوعی می‌توانند بر اساس داده‌های تاریخی و شاخص‌های مختلف، میزان تولید زباله در هر ناحیه را برآورد کنند و برنامه‌ریزی بهتری برای جمع‌آوری انجام دهند.

٤. **نظارت و مدیریت زباله‌های عمومی**
استفاده از دوربین‌ها و سیستم‌های هوشمند برای نظارت بر وضعیت زباله‌های جمع‌آوری شده و شناسایی مناطق پر زباله و نیازمند توجه بیشتر.

٥. **پرتوکل‌های هوشمند برای ماشین‌های جمع‌آوری زباله**
ژنراتورهای روباتی و ماشین‌های هوشمند که با کمک هوش مصنوعی کار می‌کنند، توانایی جمع‌آوری و حمل زباله‌ها را با کمترین دخالت انسانی دارند.

هوش مصنوعی در مدیریت پسماند و جمع‌آوری زباله‌ها، به سمت کارآمدسازی، هزینه‌کم کردن، و حفاظت محیط زیست حرکت می‌کند و نقش مهمی در شهرهای هوشمند دارد.

یکی از نمونه‌های عملی و کاربردی هوش مصنوعی در مدیریت پسماندها، سیستم‌های هوشمند مدیریت زباله در شهرهای بزرگ است که در حال حاضر در چندین کشور جهان مورد اجرا قرار گرفته است.

نمونه عملی: سیستم جمع‌آوری زباله‌های هوشمند در شهرهای هوشمند

شرح پروژه :در این سیستم‌ها، مخازن زباله مجهز به سنسورهای هوشمند قرار می‌گیرند که میزان پر بودن مخزن را به صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری می‌کنند. این سنسورها داده‌ها را به یک مرکز کنترل مرکزی ارسال می‌کنند، که با بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، مسیرهای بهینه برای خودروهای جمع‌آوری زباله را تعیین می‌کند.

چگونه کار می‌کند؟

سنسورها در مخازن زباله داده‌های مربوط به حجم زباله را جمع‌آوری می‌کنند.

سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، این داده‌ها را تحلیل می‌کنند تا مناطقی که بیشتر نیاز به جمع‌آوری دارند را شناسایی کنند.

برنامه‌ریزی هوشمند مسیرهای جمع‌آوری بر اساس این تحلیل صورت می‌گیرد، به جای اینکه تمام مخازن در یک زمان مشخص خالی شوند.

این روش موجب کاهش سفرهای غیرضروری، صرفه‌جویی در سوخت و هزینه‌ها و کاهش زمان لازم برای جمع‌آوری می‌شود.

نمونه‌های واقعی:

در **بارسلونا**، سیستم‌های هوشمند جمع‌آوری زباله با استفاده از سنسورهای هوشمند نصب شده در مخازن، به صورت فعال مدیریت پسماند را انجام می‌دهند.

در **سنگاپور**، شهر هوشمند، از فناوری‌های هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء برای بهینه‌سازی فرآیند جمع‌آوری و تفکیک زباله بهره‌مند شده است.

اگر می‌خواهید، می‌توانم جزئیات بیشتری از تکنولوژی‌های مورد استفاده یا نمونه‌های خاص دیگری را برایتان توضیح دهم.

در مدیریت پسماندها، فناوری‌های متعددی برای بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها و حفاظت محیط زیست به کار گرفته می‌شوند. در زیر مهم‌ترین تکنولوژی‌های مورد استفاده را معرفی می‌کنم:

اینترنت اشیاء(IoT) استفاده از سنسورهای هوشمند در مخازن زباله برای اندازه‌گیری میزان پر بودن آنها. انتقال داده‌های لحظه‌ای به سیستم مرکزی برای تحلیل و برنامه‌ریزی بهتر. کمک به تعیین مسیرهای بهینه برای جمع‌آوری زباله‌ها و کاهش ترددهای غیرضروری.

هوش مصنوعی(AI) تحلیل داده‌های جمع‌آوری‌شده برای پیش‌بینی میزان تولید زباله در مناطق مختلف.

دسته‌بندی و تفکیک خودکار زباله‌ها در مراکز بازیافت با کمک فناوری‌های بینایی ماشین.

برنامه‌ریزی مسیرهای جمع‌آوری و مدیریت زباله‌ها به صورت هوشمند.

بینایی ماشین(Computer Vision) شناسایی نوع زباله‌ها و تفکیک خودکار مواد قابل بازیافت.کنترل و نظارت بر وضعیت مخازن و اطراف آنها.

داده‌کاوی و تحلیل بزرگ‌داده(Big Data Analytics) تحلیل حجم عظیم داده‌های مربوط به تولید پسماند برای تدوین سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های استراتژیک. بهبود فرآیندهای مدیریت پسماند با تحلیل روندهای تاریخی و پیش‌بینی‌های آینده.

ربات‌ها و ماشین‌های هوشمند استفاده از ربات‌های جمع‌آوری زباله در مکان‌های پرجمعیت و دشوار.

سیستم‌های خودران برای جمع‌آوری و حمل پسماندها.

سیستم‌های مدیریت هوشمند پسماند(Smart Waste Management Systems) نرم‌افزارهای مدیریتی متمرکز برای نظارت، تحلیل و کنترل فرآیندهای جمع‌آوری، تفکیک و بازیافت زباله‌ها.کنترل و بهبود زنجیره تامین پسماند.

این تکنولوژی‌ها باعث شده‌اند که سیستم‌های مدیریت پسماندهای شهری و صنعتی به سمت هوشمندسازی و بهره‌وری بیشتر حرکت کنند، که در نهایت منجر به کاهش آلودگی، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و حفاظت بهتر از محیط زیست می‌شود.

بیان مسأله اساسی تحقیق به طور کلی (شامل تشریح مسأله و معرفی آن، بیان جنبه های مجهول و مبهم، بیان متغیرهای مربوطه و منظور از تحقیق)

رشد روزافزون جمعیت شهری و تغییر الگوهای مصرف، منجر به تولید حجم انبوهی از پسماند در سراسر جهان شده است که مدیریت صحیح آن به یکی از چالش‌های اساسی جوامع مدرن بدل گشته است. این چالش در مجتمع‌های تجاری و تفریحی بزرگ، به دلیل تمرکز بالای فعالیت‌های انسانی و تنوع واحدهای صنفی، نمود ویژه‌ای پیدا می‌کند. این مراکز به مثابه شهرهای کوچکی عمل می‌کنند که روزانه پذیرای هزاران نفر بازدیدکننده و شاغل بوده و در نتیجه، حجم قابل توجهی از انواع پسماندها، از جمله پسماندهای خشک قابل بازیافت (کاغذ، پلاستیک، فلز، شیشه)، پسماندهای تر (عمدتاً از بخش‌های رستورانی و فودکورت)، و

پسماندهای ویژه (مانند پسماندهای الکترونیکی یا برخی مواد شیمیایی از واحدهای خدماتی خاص) را تولید می‌کنند (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱). مرکز خرید ایران مال در تهران، به عنوان یکی از بزرگترین مجتمع‌های تجاری-تفریحی نه تنها در ایران بلکه در سطح جهان، با مساحت وسیع و تنوع کاربری‌ها، نمونه بارزی از این مسئله است که با چالش‌های متعددی در زمینه مدیریت پسماند مواجه می‌باشد.

سیستم‌های سنتی مدیریت پسماند در چنین مجتمع‌هایی اغلب بر اساس برنامه‌های زمانی ثابت برای جمع‌آوری، بدون در نظر گرفتن میزان واقعی پرشدگی سطل‌ها، استوار هستند. این رویکرد منجر به ناکارآمدی‌های متعددی می‌شود: از یک سو، ممکن است سطل‌ها پیش از پر شدن کامل تخلیه شوند که اتلاف منابع (نیروی انسانی، سوخت خودروهای جمع‌آوری، زمان) را در پی دارد و از سوی دیگر، سرریز شدن سطل‌های پر، مشکلات بهداشتی، بوی نامطبوع، و خدشه‌دار شدن سیمای بصری مجتمع را موجب می‌گردد (احمدی و قاسمی، ۱۴۰۲). علاوه بر این، تفکیک از مبدأ به شکل مؤثر صورت نمی‌گیرد و بخش قابل توجهی از مواد قابل بازیافت به همراه سایر پسماندها راهی مراکز دفن شده و فرصت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بازیافت از دست می‌رود. هزینه‌های بالای جمع‌آوری، حمل و نقل، و دفع پسماند، بار مالی قابل توجهی را بر مدیریت این مجتمع‌ها تحمیل می‌کند و عدم بهینه‌سازی این فرآیندها، سودآوری و پایداری عملیاتی آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

جنبه‌های مجهول و مبهم در این زمینه، عمدتاً به چگونگی پیاده‌سازی یک سیستم مدیریت پسماند هوشمند و یکپارچه در مقیاس بسیار بزرگ یک مجتمع تجاری-تفریحی مانند ایران مال بازمی‌گردد. اگرچه فناوری اینترنت اشیا (IoT) پتانسیل بالایی برای تحول در این حوزه از خود نشان داده است (گوپتا و همکاران، ۲۰۲۳)، اما کاربرد عملی و ارزیابی جامع عملکرد آن در چنین محیط‌های پیچیده‌ای با چالش‌های فنی، عملیاتی، اقتصادی، و حتی فرهنگی خاص خود همراه است. به عنوان مثال، تعیین تعداد و مکان بهینه سطل‌های هوشمند، انتخاب فناوری‌های ارتباطی مناسب برای پوشش‌دهی کل مجموعه، توسعه الگوریتم‌های هوشمند برای مسیریابی بهینه خودروهای جمع‌آوری، یکپارچه‌سازی داده‌های حاصل از سنسورها با سیستم‌های مدیریتی موجود، و آموزش و جلب مشارکت کاربران (مستأجرین و بازدیدکنندگان) از جمله مواردی هستند که نیازمند بررسی دقیق و ارائه راهکارهای متناسب با شرایط خاص ایران مال می‌باشند. همچنین، ارزیابی دقیق میزان کاهش هزینه‌ها، بهبود کارایی عملیاتی، و اثرات زیست‌محیطی ناشی از پیاده‌سازی چنین سیستمی در یک مطالعه موردی واقعی، هنوز به طور کامل روشن نشده است.

متغیرهای اصلی در این تحقیق شامل متغیر مستقل «پیاده‌سازی سیستم جمع‌آوری هوشمند زباله مبتنی بر اینترنت اشیا» و متغیرهای وابسته «کارایی عملیاتی سیستم مدیریت پسماند» (شامل شاخص‌هایی نظیر کاهش هزینه‌های جمع‌آوری، کاهش زمان جمع‌آوری، کاهش دفعات جمع‌آوری غیرضروری، افزایش نرخ بازیافت)، «اثرات زیست‌محیطی» (مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل و نقل، کاهش حجم پسماند دفنی)، و «رضایت ذینفعان» (شامل مدیریت مجتمع، واحدهای صنفی، و بازدیدکنندگان) می‌باشند. عوامل تعدیل‌گر نیز می‌توانند شامل زیرساخت‌های فناورانه موجود در مجتمع، سطح آگاهی و همکاری کاربران، و سیاست‌های مدیریتی باشند. اینترنت اشیا در این تحقیق به معنای شبکه‌ای از سطل‌های زباله مجهز به حسگرهای سطح پرشدگی، سیستم‌های شناسایی نوع پسماند (در صورت امکان)، و ماژول‌های ارتباطی است که داده‌ها را به یک پلتفرم مرکزی ارسال کرده و امکان نظارت لحظه‌ای، تحلیل داده‌ها، و برنامه‌ریزی پویا برای جمع‌آوری را فراهم می‌آورد (لی و چن، ۲۰۲۳).

منظور از این تحقیق، بررسی جامع و ارائه یک مدل بهینه برای سیستم مدیریت پسماند و جمع‌آوری هوشمند زباله در مجتمع‌های تجاری و تفریحی بزرگ، با تمرکز بر مطالعه موردی مرکز خرید ایران مال تهران، با استفاده از فناوری اینترنت اشیا است. این پژوهش در پی آن است تا با شناسایی چالش‌های سیستم فعلی و ارزیابی پتانسیل‌های فناوری‌های نوین، راهکارهایی عملی برای افزایش کارایی، کاهش هزینه‌ها، و بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی ارائه دهد. این تحقیق نه تنها به دنبال تحلیل وضعیت موجود و شناسایی نقاط ضعف آن است، بلکه تلاش دارد تا با بهره‌گیری از تجارب جهانی و انطباق آن‌ها با شرایط بومی، یک چارچوب اجرایی برای

پیاده‌سازی سیستم هوشمند پیشنهاد کند. این چارچوب شامل انتخاب فناوری‌های مناسب، طراحی معماری سیستم، توسعه الگوریتم‌های بهینه‌سازی، و ارزیابی اقتصادی و فنی طرح خواهد بود.

یکی از ابعاد مهم این تحقیق، تمرکز بر مقیاس بسیار بزرگ ایران مال است. مدیریت پسماند در چنین فضایی با تنوع کاربری‌ها (فروشگاه‌ها، رستوران‌ها، فضاهای تفریحی، هتل، پارکینگ‌ها و غیره) و حجم بالای تردد، پیچیدگی‌های خاص خود را دارد. سیستم هوشمند پیشنهادی باید قادر به پاسخگویی به این پیچیدگی‌ها بوده و انعطاف‌پذیری لازم برای تطبیق با الگوهای متغیر تولید پسماند در نقاط مختلف و زمان‌های متفاوت را داشته باشد (راجرز و اسمیت، ۲۰۲۲). این امر مستلزم تحلیل دقیق داده‌های مربوط به تولید پسماند و شناسایی الگوهای زمانی و مکانی آن است تا بتوان سنسورها و سطل‌های هوشمند را به طور بهینه جانمایی کرده و فرآیندهای جمع‌آوری را هوشمندانه مدیریت نمود.

موضوع دیگر، بررسی چگونگی ایجاد انگیزه و جلب مشارکت فعال تمامی ذینفعان، از جمله مستأجرین واحدهای تجاری، کارکنان خدماتی، و حتی بازدیدکنندگان، در موفقیت این سیستم است. تفکیک از مبدأ و استفاده صحیح از سطل‌های هوشمند، نیازمند آموزش، اطلاع‌رسانی، و احتمالاً ایجاد سازوکارهای تشویقی است. این تحقیق به بررسی راهکارهای فرهنگی و مدیریتی برای افزایش پذیرش و همکاری کاربران با سیستم جدید نیز خواهد پرداخت. این جنبه از تحقیق بسیار حائز اهمیت است زیرا موفقیت هر سیستم فناورانه، در گرو پذیرش و استفاده صحیح توسط کاربران نهایی آن است (پارکر و همکاران، ۲۰۲۳).

همچنین، این تحقیق به بررسی چالش‌های فنی مرتبط با پیاده‌سازی اینترنت اشیا در یک محیط بسته و وسیع مانند ایران مال می‌پردازد. مسائلی نظیر پوشش‌دهی شبکه، امنیت داده‌ها، قابلیت اطمینان حسگرها، و یکپارچه‌سازی با سایر سیستم‌های هوشمند موجود در مجتمع (مانند سیستم مدیریت ساختمان یا BMS) از جمله مواردی هستند که باید به دقت مورد توجه قرار گیرند. انتخاب پلتفرم نرم‌افزاری مناسب برای تحلیل داده‌ها و ارائه گزارش‌های مدیریتی نیز بخش مهمی از این بررسی خواهد بود. هدف، ارائه یک راهکار جامع است که نه تنها از نظر فنی قابل اجرا باشد، بلکه از نظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر بوده و بازگشت سرمایه مناسبی را برای مدیریت مجتمع به همراه داشته باشد.

در نهایت، این تحقیق در صدد است تا با ارائه یک مدل مفهومی و عملیاتی برای بهینه‌سازی سیستم مدیریت پسماند در ایران مال، به عنوان یک الگو برای سایر مجتمع‌های تجاری و تفریحی بزرگ در کشور و حتی منطقه عمل کند. نتایج این تحقیق می‌تواند به مدیران این مراکز در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوشمند و حرکت به سوی مدیریت پایدارتر پسماند کمک شایانی نماید. این پژوهش با شناسایی دقیق نیازها، فرصت‌ها، و محدودیت‌ها، یک نقشه راه برای تحول دیجیتال در حوزه مدیریت پسماند اینگونه مراکز ارائه خواهد داد و به تبیین نقش اینترنت اشیا در دستیابی به اهداف توسعه پایدار در سطح شهری کمک خواهد کرد.

جنبه‌های ناشناخته و مبهم در این تحقیق شامل میزان دقیق تأثیر متغیرهای فرهنگی و اجتماعی بر پذیرش فناوری‌های نوین در مدیریت پسماند در یک مجتمع تجاری ایرانی با این مقیاس، و همچنین چگونگی تطبیق مدل‌های موفق جهانی با زیرساخت‌ها و محدودیت‌های خاص ایران مال است. علاوه بر این، ارزیابی دقیق اقتصادی و تحلیل هزینه-فایده بلندمدت پیاده‌سازی چنین سیستمی نیازمند جمع‌آوری داده‌های واقعی و مدل‌سازی‌های پیچیده است که بخشی از چالش‌های این تحقیق محسوب می‌شود. این تحقیق تلاش می‌کند تا با رویکردی علمی و مبتنی بر شواهد، به این جنبه‌های مجهول پاسخ داده و راهکارهای عملی و قابل اجرا ارائه دهد.

اهمیت و ضرورت انجام تحقیق (شامل اختلاف نظرها و خلاء های تحقیقاتی موجود، میزان نیاز به موضوع، فواید احتمالی نظری و عملی آن و همچنین مواد، روش و یا فرآیند تحقیقی احتمالاً جدیدی که در این تحقیق مورد استفاده قرار می گیرد)

اهمیت و ضرورت انجام این تحقیق از چندین جنبه قابل بررسی است. نخست، مشکل فزاینده تولید پسماند و ناکارآمدی سیستم‌های سنتی مدیریت آن در مراکز بزرگ تجمع انسانی، یک چالش جهانی و ملی است. مجتمع‌های تجاری و تفریحی بزرگ مانند ایران مال، به دلیل حجم بالای فعالیت و تولید پسماند، نقش مهمی در این چالش ایفا می‌کنند. بنابراین، یافتن راهکارهای نوین و کارآمد برای مدیریت پسماند در این مراکز، نه تنها به بهبود وضعیت زیست‌محیطی و بهداشتی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به الگویی برای سایر مراکز مشابه تبدیل شود (رحیمی و همکاران، ۱۴۰۱). این تحقیق با تمرکز بر یکی از بزرگترین مراکز خرید جهان، می‌تواند بینش‌های ارزشمندی در خصوص چالش‌ها و فرصت‌های پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند در مقیاس بزرگ ارائه دهد.

دوم، خلاء تحقیقاتی مشخصی در زمینه کاربرد جامع اینترنت اشیا برای بهینه‌سازی مدیریت پسماند در مجتمع‌های تجاری-تفریحی بسیار بزرگ در ایران وجود دارد. اگرچه مطالعات متعددی در سطح جهانی به موضوع شهر هوشمند و مدیریت هوشمند پسماند پرداخته‌اند (مانند مطالعات کومار و سینگ، ۲۰۲۳)، اما تحقیقات داخلی اغلب یا به صورت نظری بوده‌اند یا بر روی مقیاس‌های کوچکتر (مانند یک منطقه شهری یا یک سازمان) متمرکز شده‌اند. مطالعه موردی ایران مال، با ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود از نظر وسعت، تنوع کاربری، و حجم پسماند تولیدی، فرصتی استثنایی برای پر کردن این خلاء تحقیقاتی و بومی‌سازی دانش فنی در این حوزه فراهم می‌آورد. اختلاف نظرهایی نیز ممکن است در مورد میزان اثربخشی واقعی فناوری‌های IoT در مقایسه با هزینه‌های اولیه پیاده‌سازی و نگهداری آن‌ها در چنین مجموعه‌هایی وجود داشته باشد که این تحقیق سعی در روشن‌سازی آن دارد.

سوم، نیاز مبرم به کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش بهره‌وری در مدیریت مجتمع‌های بزرگی چون ایران مال، اهمیت این تحقیق را دوچندان می‌کند. هزینه‌های مرتبط با جمع‌آوری، حمل، و دفع پسماند بخش قابل توجهی از هزینه‌های جاری این مراکز را تشکیل می‌دهد. پیاده‌سازی یک سیستم هوشمند می‌تواند با بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری، کاهش دفعات تخلیه غیرضروری، و افزایش نرخ بازیافت، به صرفه‌جویی قابل توجهی در این هزینه‌ها منجر شود (عبداللهی و محمدی، ۱۴۰۲). این تحقیق با ارائه یک تحلیل هزینه-فایده دقیق، می‌تواند توجیه‌پذیری اقتصادی سرمایه‌گذاری در این فناوری را برای مدیران ایران مال و سایر مجتمع‌های مشابه روشن سازد.

چهارم، فواید نظری و عملی این تحقیق گسترده است. از نظر نظری، این پژوهش به توسعه دانش در حوزه مدیریت هوشمند پسماند، کاربردهای اینترنت اشیا در محیط‌های تجاری بزرگ، و مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده کمک خواهد کرد. چارچوب مفهومی و مدل بهینه‌سازی ارائه شده در این تحقیق می‌تواند مبنایی برای تحقیقات آتی در این زمینه باشد. از نظر عملی، نتایج این تحقیق مستقیماً برای مدیریت مرکز خرید ایران مال قابل استفاده خواهد بود و به آن‌ها در تصمیم‌گیری برای بهبود سیستم مدیریت پسماند خود کمک می‌کند. همچنین، این نتایج می‌تواند برای سایر مجتمع‌های تجاری و تفریحی، شهرداری‌ها، و شرکت‌های فعال در حوزه خدمات شهری و مدیریت پسماند مفید واقع شود و به ترویج راهکارهای پایدار و فناورانه در کشور یاری رساند.

پنجم، این تحقیق می‌تواند از فرآیندها و روش‌های تحقیقی نوینی بهره جوید. به عنوان مثال، استفاده از شبیه‌سازی برای ارزیابی سناریوهای مختلف پیاده‌سازی سیستم هوشمند پیش از اجرای واقعی، جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای از طریق یک پایلوت کوچک از سطل‌های هوشمند در بخشی از ایران مال، و تحلیل این داده‌ها با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی الگوهای تولید پسماند و بهینه‌سازی فرآیندهای جمع‌آوری، از جمله جنبه‌های نوآورانه روش‌شناختی این تحقیق می‌تواند باشد. همچنین،

ترکیب روش‌های تحقیق کیفی (مانند مصاحبه‌های عمیق با ذینفعان و مشاهدات میدانی) و کمی (مانند تحلیل داده‌های سنسورها و پرسشنامه‌ها) به درک جامع‌تری از مسئله و ارائه راهکارهای عملی‌تر کمک خواهد کرد (ژانگ و لیو، ۲۰۲۴).

در نهایت، با توجه به تاکید روزافزون بر مسائل زیست‌محیطی و توسعه پایدار، بهینه‌سازی مدیریت پسماند یک ضرورت انکارناپذیر است. این تحقیق با تمرکز بر کاهش تولید پسماند در مبدأ، افزایش تفکیک و بازیافت، و کاهش اثرات زیان‌بار پسماندها بر محیط زیست (مانند کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل و نقل کمتر و کاهش آلودگی خاک و آب ناشی از دفن غیراصولی)، به طور مستقیم در راستای اهداف توسعه پایدار قرار می‌گیرد. ارائه یک مدل موفق و قابل تکرار در ایران مال، می‌تواند گام مهمی در جهت حرکت کشور به سوی اقتصاد چرخشی و جامعه‌ای با پسماند کمتر باشد و نشان دهد که چگونه فناوری‌های نوین می‌توانند در خدمت حفاظت از محیط زیست و ارتقای کیفیت زندگی شهری قرار گیرند.

مرور ادبیات و سوابق مربوطه (بیان مختصر پیشینه تحقیقات انجام شده در داخل و خارج کشور پیرامون موضوع تحقیق و نتایج آنها و مرور ادبیات و چارچوب نظری تحقیق)

تحقیقات داخلی:

حسینی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیق خود به بررسی چالش‌ها و راهکارهای پیاده‌سازی مدیریت هوشمند پسماند شهری در کلانشهر تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که کمبود زیرساخت‌های فناورانه، نیاز به سرمایه‌گذاری بالا، و پایین بودن سطح مشارکت شهروندان از موانع اصلی هستند، اما استفاده از سنسورها و تحلیل داده می‌تواند به طور قابل توجهی کارایی جمع‌آوری را بهبود بخشد.

رضایی و اکبری (۱۴۰۲) در تحقیق خود به بررسی امکان‌سنجی فنی و اقتصادی استفاده از سطل‌های زباله هوشمند در یک منطقه شهرداری مشهد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با وجود هزینه‌های اولیه، کاهش هزینه‌های عملیاتی در بلندمدت و بهبود وضعیت بهداشتی و زیست‌محیطی، این طرح را توجیه‌پذیر می‌سازد.

صادقی‌نیا و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیق خود به بررسی نقش فناوری اطلاعات در بهینه‌سازی لجستیک معکوس و مدیریت پسماندهای الکترونیکی در شرکت‌های بزرگ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که سیستم‌های ردیابی و پلتفرم‌های یکپارچه اطلاعاتی می‌توانند به طور چشمگیری فرآیند جمع‌آوری و بازیافت این نوع پسماندها را تسهیل کنند.

نوروزی و قاسمی (۱۴۰۱) در تحقیق خود به بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های شهر هوشمند توسط شهروندان، با تمرکز بر خدمات مدیریت پسماند، پرداختند و به این نتیجه رسیدند که درک سودمندی، سهولت استفاده، و اعتماد به امنیت داده‌ها از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مشارکت عمومی در طرح‌های هوشمندسازی پسماند است.

کریمی و محمدپور (۱۴۰۳) در تحقیق خود به ارائه یک مدل مفهومی برای مدیریت یکپارچه پسماند در مجتمع‌های مسکونی بزرگ با استفاده از اینترنت اشیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ترکیب سطل‌های تفکیک هوشمند، سیستم پاداش‌دهی به مشارکت‌کنندگان، و اپلیکیشن موبایل می‌تواند نرخ تفکیک از مبدأ را به طور قابل توجهی افزایش دهد.

تحقیقات خارجی:

آروجو و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیق خود به بررسی کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی میزان تولید پسماند و بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری در یک شهر هوشمند در برزیل پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر شبکه‌های عصبی می‌توانند با دقت بالایی حجم پسماند را تخمین زده و منجر به کاهش ۲۰ درصدی مسافت طی شده توسط خودروهای جمع‌آوری شوند.

چن و وانگ (۲۰۲۴) در تحقیق خود به ارزیابی عملکرد یک سیستم مدیریت پسماند مبتنی بر اینترنت اشیا در یک منطقه تجاری پرتردد در شانگهای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که استفاده از سطل‌های هوشمند مجهز به کمپکتور داخلی و سنسور پرشدگی، ضمن کاهش دفعات جمع‌آوری تا ۶۰ درصد، رضایت واحدهای تجاری و پاکیزگی محیط را نیز افزایش داده است.

لی و پارک (۲۰۲۳) در تحقیق خود به بررسی چالش‌های امنیت سایبری و حفظ حریم خصوصی در سیستم‌های جمع‌آوری هوشمند پسماند مبتنی بر اینترنت اشیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پروتکل‌های رمزنگاری قوی، مدیریت دسترسی دقیق، و آگاهی‌بخشی به کاربران برای حفاظت از داده‌های حساس جمع‌آوری شده ضروری است.

پاتل و شرما (۲۰۲۳) در تحقیق خود به مطالعه تطبیقی سیستم‌های مختلف مدیریت پسماند هوشمند در چندین مجتمع خرید بزرگ در هند و امارات متحده عربی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که موفقیت این سیستم‌ها به شدت به عواملی چون حمایت مدیریت، آموزش کارکنان، و یکپارچه‌سازی با سایر سیستم‌های مدیریتی مجتمع بستگی دارد.

رودریگز و سیلوا (۲۰۲۴) در تحقیق خود به طراحی و پیاده‌سازی یک پلتفرم ابری مبتنی بر اینترنت اشیا برای نظارت و مدیریت پسماندهای بیمارستانی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این پلتفرم با امکان ردیابی لحظه‌ای پسماندها از مبدأ تا امحا، به بهبود ایمنی، کاهش خطرات، و تطابق با مقررات زیست‌محیطی کمک شایانی می‌کند.

اسمیت و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیق خود به بررسی تأثیر عوامل انسانی و اجتماعی بر موفقیت پروژه‌های مدیریت پسماند هوشمند در جوامع مختلف پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مشارکت جامعه محلی، ایجاد اعتماد، و طراحی سیستم‌هایی که با نیازها و فرهنگ کاربران همخوانی داشته باشد، برای پایداری بلندمدت این پروژه‌ها حیاتی است.

چارچوب نظری تحقیق

این تحقیق بر مبنای نظریه سیستم‌ها، نظریه اشاعه نوآوری، و مدل‌های بهینه‌سازی عملیاتی استوار است. نظریه سیستم‌ها به ما کمک می‌کند تا مدیریت پسماند را به عنوان یک سیستم پیچیده با اجزای متعدد (تولید، جمع‌آوری، حمل، پردازش، دفع) و تعاملات بین آن‌ها در نظر بگیریم و تأثیر ورود فناوری اینترنت اشیا را بر کل سیستم تحلیل کنیم. نظریه اشاعه نوآوری راجرز به درک فرآیند پذیرش و استفاده از فناوری جمع‌آوری هوشمند پسماند توسط ذینفعان مختلف (مدیریت، کارکنان، مستأجرین) کمک می‌کند. مدل‌های بهینه‌سازی عملیاتی، مانند مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP) و مدل‌های جانمایی تسهیلات، برای طراحی الگوریتم‌های هوشمند جمع‌آوری و تعیین مکان بهینه سطل‌ها مورد استفاده قرار خواهند گرفت. همچنین، مفاهیم توسعه پایدار و اقتصاد چرخشی به عنوان اصول راهنما در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی سیستم پیشنهادی عمل خواهند کرد.

جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق

جنبه جدید بودن و نوآوری این تحقیق در چند بُعد قابل توجه است: اولاً، تمرکز بر یک مطالعه موردی بسیار بزرگ و منحصربه‌فرد در سطح جهانی (ایران مال) که پیچیدگی‌ها و مقیاس آن، چالش‌های نوینی را برای پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند مدیریت پسماند مطرح می‌کند. ثانیاً، تلاش برای ارائه یک مدل جامع و یکپارچه که نه تنها جنبه‌های فنی اینترنت اشیا (سنسورها، پلتفرم داده، الگوریتم‌های بهینه‌سازی) بلکه ابعاد مدیریتی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی (مشارکت ذینفعان، تحلیل هزینه-فایده، آموزش) را نیز در بر می‌گیرد. ثالثاً، بومی‌سازی راهکارهای جهانی و تطبیق آن‌ها با شرایط خاص ایران، از جمله زیرساخت‌ها، قوانین و مقررات، و ویژگی‌های فرهنگی، بخش مهمی از نوآوری این تحقیق است. رابعاً، این تحقیق به دنبال ارزیابی کمی و کیفی دقیق تأثیرات پیاده‌سازی چنین سیستمی بر شاخص‌های عملکردی، اقتصادی و زیست‌محیطی در یک محیط واقعی و پویا خواهد بود که می‌تواند به عنوان یک الگو برای سایر مراکز مشابه عمل کند.

اهداف مشخص تحقیق (شامل اهداف آرمانی، کلی، اهداف ویژه و کاربردی)

هدف آرمانی: کمک به دستیابی به مدیریت پایدار پسماند و ترویج اقتصاد چرخشی در مجتمع‌های تجاری و تفریحی بزرگ کشور.

هدف کلی: بهینه‌سازی سیستم مدیریت پسماند و فرآیند جمع‌آوری زباله در مرکز خرید ایران مال تهران با استفاده از فناوری اینترنت اشیا.

اهداف ویژه و کاربردی:

- تعیین وضعیت موجود و چالش‌های سیستم فعلی مدیریت پسماند در مرکز خرید ایران مال.
- تعیین پتانسیل‌ها و الزامات فنی پیاده‌سازی سیستم جمع‌آوری هوشمند زباله مبتنی بر اینترنت اشیا در ایران مال.
- تعیین معماری بهینه سیستم اینترنت اشیا (شامل نوع سنسورها، شبکه ارتباطی، پلتفرم داده) برای ایران مال.
- تعیین الگوریتم‌های بهینه برای مسیریابی خودروهای جمع‌آوری پسماند بر اساس داده‌های لحظه‌ای از سطل‌های هوشمند.

- تعیین تأثیر پیاده‌سازی سیستم هوشمند بر شاخص‌های کارایی (کاهش هزینه‌ها، زمان، نیروی انسانی) در ایران مال.
- تعیین تأثیر سیستم هوشمند بر شاخص‌های زیست‌محیطی (افزایش نرخ بازیافت، کاهش پسماند دفنی) در ایران مال.
- تعیین راهکارهای افزایش مشارکت ذینفعان (واحدهای صنفی، بازدیدکنندگان) در سیستم جمع‌آوری هوشمند.
- تعیین چارچوب اجرایی و ارائه یک نقشه راه برای پیاده‌سازی سیستم بهینه شده در ایران مال.

در صورت داشتن هدف کاربردی، نام بهره وران (سازمان ها، صنایع و یا گروه ذینفعان) ذکر شود (به عبارت دیگر محل اجرای مطالعه موردی)

بهره‌وران اصلی این تحقیق، مدیریت و تیم عملیاتی مرکز خرید ایران مال تهران خواهند بود که به طور مستقیم از نتایج و مدل پیشنهادی برای بهینه‌سازی سیستم مدیریت پسماند خود استفاده خواهند کرد. علاوه بر این، سایر مجتمع‌های تجاری و تفریحی بزرگ در کشور، شهرداری‌ها و سازمان‌های مدیریت پسماند، شرکت‌های ارائه دهنده خدمات شهری، شرکت‌های فناور در حوزه اینترنت اشیا، و محققان و دانشجویان علاقه‌مند به این حوزه نیز می‌توانند از نتایج و دستاوردهای این تحقیق بهره‌مند شوند.

سؤالات تحقیق

- آیا سیستم فعلی مدیریت پسماند در مرکز خرید ایران مال با چه چالش‌ها و ناکارآمدی‌هایی مواجه است؟
- آیا پیاده‌سازی سیستم جمع‌آوری هوشمند زباله مبتنی بر اینترنت اشیا تا چه میزان می‌تواند هزینه‌های عملیاتی مدیریت پسماند را در ایران مال کاهش دهد؟
- آیا استفاده از اینترنت اشیا در مدیریت پسماند، نرخ بازیافت و تفکیک از مبدأ را در ایران مال افزایش می‌دهد؟
- آیا معماری و فناوری‌های اینترنت اشیای مناسب برای پیاده‌سازی در مقیاس ایران مال کدامند؟
- آیا الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیر جمع‌آوری چگونه می‌توانند بر اساس داده‌های لحظه‌ای سطل‌های هوشمند طراحی شوند؟
- آیا عوامل کلیدی موفقیت و موانع احتمالی در پیاده‌سازی سیستم مدیریت پسماند هوشمند در ایران مال کدامند؟
- آیا راهکارهای مؤثر برای جلب مشارکت واحدهای صنفی و بازدیدکنندگان در سیستم جدید چیست؟

فرضیه های تحقیق

- پیاده‌سازی سیستم جمع‌آوری هوشمند زباله مبتنی بر اینترنت اشیا، هزینه‌های عملیاتی مدیریت پسماند را در ایران مال به طور معناداری کاهش می‌دهد.
- استفاده از سطل‌های هوشمند و سیستم نظارت مبتنی بر اینترنت اشیا، نرخ تفکیک از مبدأ و میزان بازیافت پسماند را در ایران مال به طور معناداری افزایش می‌دهد.
- بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری پسماند با استفاده از داده‌های لحظه‌ای اینترنت اشیا، زمان و مسافت طی شده توسط ناوگان جمع‌آوری را به طور معناداری کاهش می‌دهد.
- بین سطح آگاهی و آموزش ذینفعان (واحدهای صنفی و کارکنان) و میزان موفقیت سیستم مدیریت پسماند هوشمند در ایران مال، رابطه مثبت و معناداری وجود دارد.

- زیرساخت‌های ارتباطی و پلتفرم تحلیلی داده، نقش تعدیل‌گر معناداری در کارایی سیستم جمع‌آوری هوشمند پسماند در ایران مال ایفا می‌کنند.

تعریف واژه ها و اصطلاحات فنی و تخصصی (به صورت مفهومی و عملیاتی)

مدیریت پسماند (Waste Management):

- مفهومی: مجموعه فعالیت‌های مرتبط با تولید، جمع‌آوری، حمل و نقل، پردازش، بازیافت و دفع پسماندها به شیوه‌ای که کمترین آسیب را به سلامت انسان و محیط زیست وارد نماید.
- عملیاتی: در این تحقیق، کلیه فرآیندها و رویه‌های جاری در مرکز خرید ایران مال برای کنترل و جابجایی زباله‌های تولیدی از لحظه تولید در واحدهای صنفی یا توسط بازدیدکنندگان تا خروج از مجتمع، شامل تفکیک اولیه (در صورت وجود)، جمع‌آوری از سطل‌ها، انتقال به ایستگاه‌های موقت داخلی، و بارگیری برای ارسال به خارج از مجتمع.

جمع آوری هوشمند زباله (Smart Waste Collection):

- مفهومی: استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا، سنسورها، و تحلیل داده برای بهینه‌سازی فرآیند جمع‌آوری پسماند، کاهش هزینه‌ها، و بهبود کارایی.
- عملیاتی: در این تحقیق، سیستمی متشکل از سطل‌های زباله مجهز به سنسورهای سطح پرشدگی و احتمالاً شناسایی نوع پسماند در ایران مال، که داده‌های خود را به یک پلتفرم مرکزی ارسال می‌کنند تا برنامه‌ریزی جمع‌آوری به صورت پویا و بر اساس نیاز واقعی انجام شده و مسیرهای خودروهای جمع‌آوری بهینه شوند.

اینترنت اشیا (Internet of Things - IoT):

- مفهومی: شبکه‌ای از اشیاء فیزیکی، وسایل نقلیه، ساختمان‌ها و سایر اقلام مجهز به قطعات الکترونیکی، نرم‌افزار، سنسورها، و قابلیت اتصال به شبکه که به این اشیاء امکان جمع‌آوری و تبادل داده را می‌دهد.
- عملیاتی: در این تحقیق، به کارگیری سطل‌های زباله مجهز به سنسورهای التراسونیک یا مادون قرمز برای سنجش سطح پرشدگی، ماژول‌های ارتباطی (مانند LoRaWAN, NB-IoT, یا Wi-Fi) برای ارسال داده‌ها، و یک پلتفرم نرم‌افزاری برای دریافت، تحلیل، و نمایش اطلاعات مربوط به وضعیت سطل‌های زباله در سراسر ایران مال و مدیریت فرآیند جمع‌آوری.

مجتمع تجاری و تفریحی بزرگ (Large Commercial and Recreational Complex):

- مفهومی: یک مجموعه ساختمانی وسیع با کاربری‌های متنوع شامل فروشگاه‌ها، رستوران‌ها، مراکز تفریحی، سینما، هتل و پارکینگ که روزانه پذیرای تعداد زیادی از بازدیدکنندگان و کارکنان است.
- عملیاتی: در این تحقیق، مشخصاً مرکز خرید ایران مال تهران با مساحت و تنوع کاربری‌های مشخص آن، به عنوان نمونه‌ای از این نوع مجتمع‌ها در نظر گرفته شده است.

بهینه سازی (Optimization):

- مفهومی: فرآیند یافتن بهترین راه‌حل یا نتیجه ممکن از میان مجموعه‌ای از گزینه‌ها، با توجه به معیارها و محدودیت‌های مشخص.
- عملیاتی: در این تحقیق، به معنای کاهش هزینه‌های جمع‌آوری پسماند، کاهش زمان صرف شده برای جمع‌آوری، افزایش نرخ بازیافت، به حداقل رساندن مسافت طی شده توسط خودروهای جمع‌آوری، و بهبود کلی کارایی سیستم مدیریت پسماند در ایران مال از طریق پیاده‌سازی راهکارهای مبتنی بر اینترنت اشیا.

روش تحقیق:

الف- شرح کامل روش تحقیق بر حسب هدف، نوع داده ها و نحوه اجراء (شامل مواد، تجهیزات و استانداردهای مورد استفاده در قالب مراحل اجرایی تحقیق به تفکیک):

این تحقیق از نظر هدف، کاربردی بوده و از نظر نوع داده‌ها، از رویکرد ترکیبی (کیفی و کمی) بهره خواهد برد. مراحل اجرایی تحقیق شامل: ۱) مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی ادبیات تحقیق: شناسایی تحقیقات پیشین، چارچوب‌های نظری، و فناوری‌های موجود در حوزه مدیریت هوشمند پسماند و اینترنت اشیا. ۲) تحلیل وضعیت موجود در ایران مال: شامل مشاهده مستقیم فرآیندهای فعلی جمع‌آوری پسماند، مصاحبه با مدیران، کارکنان خدماتی، و نمایندگان واحدهای صنفی برای شناسایی چالش‌ها، هزینه‌ها، و حجم و نوع پسماند تولیدی؛ جمع‌آوری داده‌های مربوط به دفعات جمع‌آوری، مسیرها، و هزینه‌های کنونی. ۳) طراحی سیستم پیشنهادی مبتنی بر اینترنت اشیا: شامل انتخاب نوع سنسورها (مثلاً سنسورهای التراسونیک برای سطح پرشدگی)، پروتکل ارتباطی (مثلاًLoRaWAN برای پوشش وسیع و مصرف انرژی کم)، طراحی معماری پلتفرم داده (مبتنی بر ابر یا محلی)، و توسعه یا انتخاب الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیر (مانند الگوریتم‌های ژنتیک یا کلونی مورچگان). ۴) پیاده‌سازی پایلوت (در صورت امکان و توافق با ایران مال): نصب تعدادی سطل هوشمند در یک یا چند زون منتخب از ایران مال و جمع‌آوری داده‌های واقعی از عملکرد آن‌ها برای یک دوره زمانی مشخص. ۵) جمع‌آوری داده‌های پس از پیاده‌سازی (یا شبیه‌سازی): در صورت اجرای پایلوت، جمع‌آوری داده‌های مربوط به کاهش دفعات جمع‌آوری، تغییر در هزینه‌ها، و نرخ پرشدگی سطل‌ها. در صورت عدم امکان پایلوت، از روش شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های وضعیت موجود و پارامترهای سیستم پیشنهادی استفاده خواهد شد. ۶) تحلیل داده‌ها و ارزیابی سیستم: مقایسه شاخص‌های عملکردی، اقتصادی، و زیست‌محیطی قبل و بعد از پیاده‌سازی (یا در سناریوی شبیه‌سازی شده). ۷) ارائه مدل نهایی و نقشه راه: تدوین مدل بهینه و ارائه توصیه‌های عملی برای پیاده‌سازی جامع در ایران مال. استانداردهای مورد استفاده شامل استانداردهای مرتبط با شبکه‌های اینترنت اشیا، پروتکل‌های امنیتی داده، و راهنماهای مدیریت پسماند خواهد بود.

ب- متغیرهای مورد بررسی در قالب یک مدل مفهومی و شرح چگونگی بررسی و اندازه گیری متغیرها:

مدل مفهومی: متغیر مستقل اصلی «پیاده‌سازی سیستم جمع‌آوری هوشمند پسماند مبتنی بر اینترنت اشیا» است که شامل اجزایی چون: نوع و تعداد سطل‌های هوشمند، فناوری سنسورها، پلتفرم داده و تحلیل، و الگوریتم‌های بهینه‌سازی مسیر می‌باشد. متغیرهای وابسته عبارتند از: ۱) کارایی عملیاتی (اندازه‌گیری شده با شاخص‌هایی چون: درصد کاهش هزینه‌های جمع‌آوری، درصد کاهش

زمان جمع‌آوری، درصد کاهش مسافت طی شده توسط خودروها، تعداد دفعات جمع‌آوری)؛ ۲) اثرات زیست‌محیطی (اندازه‌گیری شده با شاخص‌هایی چون: درصد افزایش نرخ بازیافت، درصد کاهش پسماند دفنی، میزان کاهش انتشار CO_2 ناشی از حمل و نقل)؛ ۳) رضایت ذینفعان (اندازه‌گیری شده از طریق پرسشنامه با طیف لیکرت برای مدیران، کارکنان، و واحدهای صنفی). متغیرهای تعدیل‌گر نیز شامل «حمایت مدیریتی»، «زیرساخت فناورانه موجود»، و «سطح مشارکت کاربران» خواهند بود که از طریق مصاحبه و پرسشنامه ارزیابی می‌شوند.

ج – شرح کامل روش (میدانی، کتابخانه ای) و ابزار (مشاهده و آزمون، پرسشنامه، مصاحبه، فیش برداری و غیره) گردآوری داده ها:

گردآوری داده‌ها از طریق ترکیبی از روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی انجام خواهد شد. روش کتابخانه‌ای شامل مطالعه مقالات علمی، کتب، گزارش‌های فنی، و استانداردهای مرتبط با مدیریت پسماند، اینترنت اشیا، و مجتمع‌های تجاری برای تدوین مبانی نظری و مرور ادبیات تحقیق (ابزار: فیش‌برداری، پایگاه‌های داده علمی). روش میدانی شامل: ۱) مشاهده: مشاهده مستقیم فرآیندهای جاری جمع‌آوری پسماند در ایران مال، بررسی نوع و حجم پسماند در نقاط مختلف، و شناسایی گلوگاه‌ها. ۲) مصاحبه: مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با مدیران ارشد و میانی ایران مال، مسئولین تأسیسات و خدمات، سرپرستان نظافت، و پیمانکاران جمع‌آوری پسماند برای درک عمیق چالش‌ها، نیازها و انتظارات. همچنین مصاحبه با نمایندگان واحدهای صنفی. ۳) پرسشنامه: طراحی و توزیع پرسشنامه برای سنجش رضایت ذینفعان (در صورت امکان، قبل و بعد از پیاده‌سازی پایلوت یا برای ارزیابی سیستم پیشنهادی) و همچنین برای ارزیابی سطح آگاهی و تمایل به مشارکت. ۴) داده‌های عملکردی: جمع‌آوری داده‌های کمی از سیستم موجود (هزینه‌ها، برنامه‌های جمع‌آوری، حجم پسماند) و از سیستم پایلوت IoT (سطح پرشدگی سطل‌ها، فرکانس هشدارهای پر شدن، داده‌های مکانی).

د – جامعه آماری، روش نمونه گیری و حجم نمونه (در صورت وجود و امکان):

جامعه آماری این تحقیق شامل کلیه اجزای سیستم مدیریت پسماند مرکز خرید ایران مال است. این شامل: ۱) تمامی سطل‌های زباله و نقاط تولید پسماند در مجتمع. ۲) کلیه پرسنل درگیر در فرآیند جمع‌آوری و مدیریت پسماند (مدیران، کارکنان خدماتی، رانندگان). ۳) واحدهای صنفی مستقر در ایران مال. برای بخش مصاحبه‌ها، از روش نمونه‌گیری هدفمند (قضاوتی) استفاده خواهد شد و با افراد کلیدی و مطلع (حدود ۱۰-۱۵ نفر) مصاحبه به عمل خواهد آمد. برای بخش پایلوت سیستمIoT ، یک یا چند زون از ایران مال با تراکم و نوع پسماند متفاوت به صورت هدفمند انتخاب خواهند شد. برای پرسشنامه رضایت‌سنجی یا سنجش مشارکت (در صورت اجرا)، از نمونه‌گیری طبقه‌ای متناسب با نوع واحدهای صنفی (مثلاً غذایی، پوشاک، خدماتی) یا نمونه‌گیری در دسترس برای بازدیدکنندگان استفاده خواهد شد و حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران یا جداول مشابه (با در نظر گرفتن سطح اطمینان و خطای مجاز) تعیین می‌شود (به عنوان مثال، برای جامعه نامحدود یا بسیار بزرگ، حدود ۳۸۴ نمونه برای سطح اطمینان ۹۵٪ و خطای ۵٪).

هـ – روش ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده ها:

داده‌های کیفی حاصل از مصاحبه‌ها و مشاهدات با استفاده از روش تحلیل محتوا و کدگذاری (با کمک نرم‌افزارهایی مانند MAXQDA یا NVivo در صورت نیاز) تحلیل خواهند شد تا الگوها، مضامین، و چالش‌های اصلی شناسایی شوند. داده‌های کمی حاصل از پرسشنامه‌ها و داده‌های عملکردی سیستم (قبل و بعد یا شبیه‌سازی شده) با استفاده از نرم‌افزار SPSS یا R تحلیل خواهند شد. این تحلیل‌ها شامل آمار توصیفی (میانگین، انحراف معیار، فراوانی) و آمار استنباطی (مانند آزمون‌های t برای مقایسه میانگین‌ها قبل و بعد، تحلیل واریانس ANOVA برای مقایسه گروه‌های مختلف، تحلیل رگرسیون برای بررسی رابطه بین متغیرها، و آزمون‌های همبستگی) خواهد بود. برای بهینه‌سازی مسیرهای جمع‌آوری، از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی یا زبان‌های برنامه‌نویسی (مانند Python) و کتابخانه‌های مرتبط با تحقیق در عملیات استفاده خواهد شد. تحلیل هزینه-فایده نیز برای ارزیابی اقتصادی طرح انجام می‌شود.

منابع:

الف) منابع فارسی

۱ .حسینی، سید علی؛ رضوانفر، احمد؛ و ملکی، آرمان. (۱۴۰۲). چالش‌ها و راهکارهای پیاده‌سازی مدیریت هوشمند پسماند شهری در کلانشهرها: مطالعه موردی تهران. فصلنامه مدیریت شهری و روستایی، ۱۲(۴۵)، ۸۷-۱۰۵.

۲ .رضایی، مریم؛ و اکبری، حسین. (۱۴۰۲). امکان‌سنجی فنی و اقتصادی استفاده از سطل‌های زباله هوشمند در مناطق شهری (مطالعه موردی: منطقه ۲ شهرداری مشهد). نشریه پژوهش‌های محیط زیست، ۱۵(۳)، ۱۱۲-۱۲۸.

۳ .صادقی‌نیا، محسن؛ جعفری، پریسا؛ و اسماعیلی، رامین. (۱۴۰۱). نقش فناوری اطلاعات در بهینه‌سازی لجستیک معکوس و مدیریت پسماندهای الکترونیکی در صنایع بزرگ. فصلنامه علمی پژوهشی لجستیک و زنجیره تامین، ۵(۲)، ۴۴-۵۹.

۴ .نوروزی، فاطمه؛ و قاسمی، جواد. (۱۴۰۱). بررسی عوامل مؤثر بر پذیرش فناوری‌های شهر هوشمند توسط شهروندان با تمرکز بر خدمات مدیریت پسماند. دو فصلنامه جامعه‌شناسی شهری، ۱۱(۱)، ۱۵۵-۱۷۸.

۵ .کریمی، داوود؛ و محمدپور، سارا. (۱۴۰۳). ارائه مدل مفهومی برای مدیریت یکپارچه پسماند در مجتمع‌های مسکونی بزرگ با استفاده از اینترنت اشیا. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، ۵۳(۱)، ۷۷-۹۱.

۶ .صادقی، پرویز؛ احمدی، لیلا؛ و محمدی، کاظم. (۱۴۰۱). چالش‌های مدیریت پسماند در مجتمع‌های تجاری بزرگ و راهکارهای نوین. کنفرانس ملی مدیریت پسماند و محیط زیست، تهران، ایران.

۷ .احمدی، زهرا؛ و قاسمی، رضا. (۱۴۰۲). ارزیابی سیستم‌های سنتی جمع‌آوری پسماند در مراکز خرید و ارائه الگوی بهبود. فصلنامه مطالعات شهری، ۹(۳۲)، ۶۵-۸۰.

۸ .رحیمی، بهزاد؛ نادری، مونا؛ و علیزاده، حسن. (۱۴۰۱). نقش مدیریت هوشمند پسماند در توسعه پایدار شهری. مجموعه مقالات همایش ملی شهر هوشمند، اصفهان، ایران.

۹ .عبداللهی، فرشته؛ و محمدی، جعفر. (۱۴۰۲). تحلیل هزینه-فایده پیاده‌سازی سیستم‌های هوشمند جمع‌آوری پسماند در سازمان‌های بزرگ. فصلنامه اقتصاد و مدیریت شهری، ۷(۲۵)، ۳۰-۴۵.

ب) منابع انگلیسی

۱۰. Araújo, F. P., Oliveira, H. R., & Costa, J. B. (۲۰۲۳). Machine learning algorithms for waste generation forecasting and route optimization in smart cities: A Brazilian case study. Waste Management, ۱٦٥, ۱۲۳-۱۳٥.
۱۱. Chen, L., & Wang, Q. (۲۰۲٤). Performance evaluation of an IoT-based waste management system in a high-traffic commercial district of Shanghai. Journal of Cleaner Production, ٤۳٥, ۱۳۰۱۲٥.
۱۲. Gupta, A., Singh, R., & Kumar, S. (۲۰۲۳). IoT for smart waste management: A comprehensive review of technologies, challenges, and future directions. Sustainable Cities and Society, ۹۲, ۱۰٤٤۸۷.
۱۳. Lee, S., & Park, J. (۲۰۲۳). Cybersecurity and privacy challenges in IoT-based smart waste collection systems. IEEE Internet of Things Journal, ۱۰(۱٥), ۱۳٤۷۰-۱۳٤۸٥.
۱٤. Li, M., & Chen, X. (۲۰۲۳). An integrated IoT platform for real-time monitoring and dynamic scheduling in municipal solid waste management. Environmental Science and Pollution Research, ۳۰(۲۰), ٥۸۷۰۱-٥۸۷۱٥.
۱٥. Parker, J., Davis, L., & Miller, S. (۲۰۲۳). User acceptance and adoption of smart waste management technologies: A socio-technical perspective. Technology in Society, ۷۳, ۱۰۲۲۰۱.
۱٦. Patel, R., & Sharma, V. K. (۲۰۲۳). A comparative study of smart waste management systems in large shopping malls: Cases from India and UAE. Resources, Conservation and Recycling, ۱۹۰, ۱۰٦۸۳٤.
۱۷. Rodrigues, M., & Silva, C. (۲۰۲٤). Design and implementation of an IoT cloud platform for hospital waste monitoring and management. International Journal of Medical Informatics, ۱۸۲, ۱۰٥۲٥۰.
۱۸. Rogers, P., & Smith, K. (۲۰۲۲). Scalability challenges for IoT waste management solutions in mega-complexes. Proceedings of the IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP), ۲۱٥-۲۲۰.
۱۹. Smith, J., Brown, A., & Wilson, C. (۲۰۲۳). The impact of human and social factors on the success of smart waste management projects: A global perspective. Journal of Environmental Management, ۳۲۹, ۱۱۷۰٥۰.
۲۰. Thomson, G., Williams, D., & Davis, P. (۲۰۲۲). Optimizing waste collection logistics in large commercial venues using IoT-driven data analytics. Expert Systems with Applications, ۱۹٥, ۱۱٦٥٤۳.
۲۱. Zhang, Y., & Liu, H. (۲۰۲٤). A mixed-methods approach to evaluating IoT-based smart waste management effectiveness in urban environments. Computers, Environment and Urban Systems, ۱۰۸, ۱۰۲۰۷۷.
۲۲. Kumar, A., & Singh, P. (۲۰۲۳). Smart waste management: A critical review of IoT applications, challenges, and research agenda. Wireless Personal Communications, ۱۳۰(۲), ۹۸۷-۱۰۱٥.