مقاله پژوهشی

فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست
دوره دوم، شماره ۷، پاییز ۱۴۰۳، صفحات ۶۱-۴۴
شاپا الکترونیکی: ۰۹۳۰-۲۹۸۱

کاربرد هوش‌مصنوعی در بهبود مدیریت پسماندهای ساختمانی: مطالعه‌ای بر سیستم‌های یکپارچه در شهر اصفهان

محمدرضا طباطبایی دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
هادی شکیبازاهد* استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۶

چکیده مبسوط

مقدمه: با توجه به افزایش تولید پسماند و دل‌نگرانی‌های حاصل از خسارات اکولوژیکی ناشی از آن‌ها، سیاست‌گذاری مدیریت پسماند از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار شده است. پسماند محصول جانبی فعالیت‌های انسانی و شامل انواع پسماندهای خانگی، پزشکی، کشاورزی، صنعتی، تجاری، ویژه و خطرناک است. بازیابی نخاله‌های ساختمانی می‌تواند نیاز به انرژی، منابع طبیعی، منابع استخراج و زمین لازم بـرای دفن بهداشتی و کنترل شده را کاهش دهد. در این میان صنعت ساخت‌وساز با چالش‌های متعددی نظیر هزینه‌های بالا، زمان طولانی پروژه‌ها، مسائل ایمنی و سلامت، و کمبود نیروی کار مواجه است. به علاوه، این صنعت در مقایسه با دیگر صنایع، به‌طور محدود دیجیتالی شده که بر پیچیدگی‌ها و مشکلات آن افزوده است. یکی از فناوری‌های نوین که می‌تواند به حل این مسائل کمک کند، هوش‌مصنوعی است. هدف از پژوهش حاضر بررسی نقش و کاربرد هوش‌مصنوعی در سیستم مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان است و این هدف با فرض اینکه تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارد دنبال می شود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به بررسی نقش هوش‌مصنوعی در سیستم مدیریت پسماندهای ساختمانی در شهر اصفهان پرداخته است. برای این منظور، داده‌ها از طریق اسناد و مطالعات میدانی در مناطق مختلف شهر اصفهان جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مانند SPSS و Smart PLS تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که استفاده از فناوری‌هایی هم‌چون هوش‌مصنوعی و سنسورها می‌تواند به بهینه‌سازی فرآیندهای جمع‌آوری و پردازش پسماندهای ساختمانی کمک کند. به‌ویژه، استفاده از سنسورها برای نظارت بر میزان پر شدن سطل‌های پسماند، بهینه‌سازی مسیر جمع‌آوری با استفاده از GPS، و بهره‌گیری از سطل‌های هوشمند برای تفکیک و فشرده‌سازی پسماند از جمله راهکارهای موثر به‌شمار می‌آیند. همچنین، هدایت جریان پسماندها به سوی فناوری‌های پیشرفته مانند بازیافت و پسماندسوزی، می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و آلاینده‌ها کمک کند. طبق نتایج به دست آمده بیش‌ترین میزان همبستگی بین شاخص کاربرد هوش‌مصنوعی با مدیریت پسماند ساختمانی ۰/۸۲ و بعد از آن بین شـاخص هوش‌مصنوعی با شهر اصفهان ۰/۷۹ و سپس شاخص مدیریت پسماند ساختمانی با شاخص شهر اصفهان ۰/۶۷ است که بیانگر تأثیرگذاری شاخص‌های کاربرد هوش‌مصنوعی بر مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان است.

نتیجه‌گیری: این یافته‌ها نشان می‌دهند که هوش‌مصنوعی می‌تواند به بهبود کارایی و کاهش اثرات زیست‌محیطی سیستم‌های مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان کمک کند. در این راستا، جداسازی مواد قابل بازیافت در مرحله تولید و در مبدا، به دلیل سهولت، صرفه‌جویی در زمان و هزینه و کاهش آلودگی و تخریب کمتر مواد قابل بازیافت بسیار مطلوب، کارآمدتر و کاربردی‌تر است.

واژه‌های کلیدی:
دیجیتال‌سازی صنعت ساخت‌وساز، هوش‌مصنوعی، تکنولوژی‌های پیشرفته در مدیریت پسماند

نویسنده مسئول: هادی شکیبازاهد

نشانی: استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران **تلفن:** ۰۹۱۲۲۱۵۴۳۳۸ **پست الکترونیکی:** h.shakiba@hsu.ac.ir

استناد: طباطبایی محمدرضا، شکیبازاهد هادی. کاربرد هوش‌مصنوعی در بهبود مدیریت پسماندهای ساختمانی: مطالعه‌ای بر سیستم‌های یکپارچه در شهر اصفهان. پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۲(۷): ۶۱-۴۴.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه http://creativecommons.org/licenses/by/4.0 در فصلنامه پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.

مقدمه

صنعت ساخت‌وساز نقش مهمی در توسعه اجتماعی و اقتصادی ایفا می‌کند. چراکه حدود ۲۵ درصد از تولید ناخالص داخلی جهان را تشکیل داده و ۷ درصد از جمعیت را به‌کار می‌گیرد (نوروزی و همکاران ۲۰۲۱). در اتحادیه اروپا، در سال ۲۰۲۰ حدود ۱۸ میلیون نفر در بخش ساخت‌وساز مشغول به‌کار بودند (بناچیو و همکاران۲۰۲۰). با این‌حال، این بخش مسئول مصرف بالای منابع اولیه و تولید انبوه پسماند است. در سطح جهانی، تخمین زده می‌شود که صنعت ساختمان بیش از ۳۰ تا ۴۰ درصد از کل منابع‌طبیعی استخراج‌شده را مصرف می‌کند (دارکو و همکاران ۲۰۲۰، پورچز و همکاران ۲۰۲۱). حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد از کل زباله‌های جامد را تولید می‌کند (نصیر و همکاران ۲۰۱۷) و تا ۲۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای CO_2 را به خود اختصاص می‌دهد (ماهپور ۲۰۱۸). در اتحادیه اروپا، در سال ۲۰۲۰ تولید زباله‌های ساختمانی و تخریب حدود ۷۴۷٫۳ میلیون تن بود که معادل ۱۶۸۵ کیلوگرم به ازای هر نفر است. با افزایش جمعیت انسانی میزان تولید پسماند افزایش یافته است و به تبع آن نیاز به زمین برای دفن زباله افزایش یافته است (ضرابی و همکاران ۱۳۹۱، اجاقی و همکاران ۲۰۲۱). مسئولیت جمع‌آوری، انتقال، پردازش و دفن زباله در اختیار شهرداری‌ها می‌باشد که این امر نیاز به هزینه، تجهیزات و نیروی انسانی دارد (شریف زاده ۱۳۸۹، اولیائی و فتائی ۲۰۱۶). مواد زاید جامد شهری شامل ضایعات آلی و غیرآلی مانند بسته‌بندی محصول، شیشه، پلاستیک، غذا، بطری و مواد چوبی است که از منابع خانگی، تجاری، موسسات اداری، نخاله و پسماند ساختمانی، فضای سبز شهری و تصفیه فاضلاب در شهرها تولید می‌گردند. مواد زاید شهری طیف وسیعی را تشکیل می‌دهند که از نظر منبع و خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار متنوع هستند (حسین وهمکاران ۲۰۲۲، زاودسکا ۲۰۰۰). برای دستیابی به توسعه پایدار، باید پسماندها به‌طور دقیق و با هزینه مؤثر مدیریت شوند و اصول اقتصاد دایره‌ای به‌کار گرفته شود (جونسو و همکاران۲۰۲۰، اُلی و همکاران ۲۰۲۲). در این راستا پارلمان اروپا و کمیسیون، دستورالعمل شماره ۲۰۰۸/۹۸ را صادر کردند که بر اساس آن، کشورهای عضو اتحادیه اروپا ملزم شدند تا میزان بازیافت زباله‌ها را از سال ۲۰۲۰ به حداقل ۷۰ درصد وزنی افزایش دهند. اگرچه میزان بازیافت زباله‌های ساختمانی در اتحادیه اروپا به‌طور کلی تقریباً ثابت مانده و در حدود ۹۰ درصد است، اما سهم بازیافت در برخی کشورها به‌طور جزئی کاهش یافته است. در سطح جهانی، کشورهایی که به‌سرعت درحال توسعه هستند، مانند چین که سالانه ۲ میلیارد تن زباله ساختمانی تولید می‌کند، حتی از مجموع تولید زباله‌های ساختمانی و تخریب در تمامی کشورهای اتحادیه اروپا پیشی گرفته‌اند (ژنگ و همکاران ۲۰۱۷). متداول‌ترین مواد بازیافتی از زباله‌های ساختمانی و تخریب، علاوه‌بر خاک، بتن و سرامیک هستند که معمولاً برای استفاده در خاک‌ریزها، پشت‌بندها، پرکننده‌ها، یا بسترهای زیر دال‌های فونداسیون یا سنگ‌فرش‌ها به‌کار می‌روند. به‌ندرت، قطعات بازیافتی به‌عنوان سنگ‌دانه در تولید مخلوط‌های بتن جدید یا به‌عنوان ریزپرکننده‌ها استفاده می‌شوند (کلوزک و همکاران ۲۰۲۰، نزرکا و همکاران ۲۰۲۰، پروسک و همکاران ۲۰۲۳، والتین و همکاران ۲۰۲۱). عامل محدودکننده اصلی در ارزش‌گذاری زباله‌های ساختمانی خرد شده در کاربردهایی مانند تولید بتن، مرتب‌سازی نامناسب است (هونگ و همکاران ۲۰۲۰). سو (۲۰۲۰) در یک مطالعه تکاملی چندعاملی به این نتیجه رسید که تحقیقات در زمینه طبقه‌بندی زباله‌های ساختمانی و تخریب بیش‌ترین پتانسیل را برای ترویج بازیافت و استفاده مجدد دارند. دیویس و همکاران (۲۰۲۱) نیز اشاره کردند که طبقه‌بندی خودکار مواد زباله‌های ساختمانی و تخریب به‌طور قابل‌توجهی هزینه‌های مربوط به مرتب‌سازی را کاهش می‌دهد. مجموعه ادبیات فعلی آینده امیدوارکننده‌ای را برای هوش‌مصنوعی در مدیریت زباله و بازیابی منابع نشان می‌دهد. با این‌حال، پژوهش‌های بیش‌تری برای کشف پتانسیل کامل هوش‌مصنوعی در زمینه‌های متنوع و گسترده‌تر مورد نیاز است. مطالعات آتی باید روی غلبه بر مسائل کیفیت داده‌ها، توسعه مدل‌های هوش‌مصنوعی سازگار که می‌توانند تنوع در انواع و حجم زباله‌ها را مدیریت کنند، و ایجاد محیط‌های نظارتی حمایتی که نوآوری‌های فناورانه در مدیریت زباله را تسهیل می‌کند، تمرکز کنند. در کشور درحال توسعه ایران، با افزایش روزافزون جمعیت و از طرفی افزایش تمایل به زندگی شهرنشینی، نیاز روزافزون به مسکن احساس می‌شود.

ادبیات موجود آینده‌ای امیدوارکننده برای کاربرد هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند و ارزیابی منابع ترسیم می‌کند. با این‌حال، تحقیقات بیش‌تری لازم است تا پتانسیل کامل هوش‌مصنوعی در زمینه‌های مختلف و به‌ویژه در حوزه‌های گسترده‌تر، آشکار شود. مطالعات آینده باید به‌منظور غلبه بر مشکلات کیفیت داده‌ها، مدل‌های هوش‌مصنوعی تطبیقی را توسعه دهند که قادر به مدیریت تنوع انواع و حجم پسماندها باشند. هم‌چنین، این مطالعات باید بر ایجاد محیط‌های نظارتی متمرکز شوند که نوآوری‌های فناوری در مدیریت پسماند را تسهیل کنند.

آواد و مالیک (۲۰۲۴) در تحقیقی با عنوان چارچوب تصمیم‌گیری برای انتخاب محل دفن زباله در عربستان‌سعودی با استفاده از هوش‌مصنوعی قابل توضیح و تجزیه‌وتحلیل چندمعیاره بیان

کردند که این پژوهشگرها روی تعامل پارامترهای ژئوفیزیکی، ژئو اکولوژیکی و اجتماعی – اقتصادی تمرکز کرده و از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای وزن‌دهی پارامترها برای رسیدگی به چالش‌های انتخاب مکان بهره بردند و سپس یک نقشه شاخص به نام شاخص بالقوه مکان دفن زباله ارائه دادند که تمام پارامترهای کلیدی را برای نشان‌دادن مناطق مناسب برای مکان‌های دفن زباله یکپارچه می‌کرد. مینگ و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی با عنوان هوش‌مصنوعی به‌عنوان محرک کارایی در مدیریت زباله و بازیابی منابع معاملات بین‌المللی در زمینه هوش‌مصنوعی نشان دادند که هوش‌مصنوعی می‌تواند دقت طبقه‌بندی زباله، پیش‌بینی حجم زباله و شناسایی فرصت‌های بازیابی منابع را به میزان قابل‌توجهی بهبود بخشد. پیاده‌سازی راه‌حل‌های هوش‌مصنوعی در این پژوهش منجر به افزایش ۱۵ درصدی کارایی بازیابی منابع و کاهش ۲۰ درصدی در هزینه‌های عملیاتی شد. پیتاکاسو و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی با عنوان هوش‌مصنوعی پیشرفته برای سیستم طبقه‌بندی زباله‌های شهری عفونی بیان کردند که این پژوهش‌گرها با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته هوش‌مصنوعی، دسته‌بندی و بهینه‌سازی زباله‌های عفونی را اولویت‌بندی کردند و یک چارچوب دوگانه قوی ایجاد کردند. تقویت تصویر هندسی نوآورانه استحکام مدل را افزایش داد، داده‌های آموزشی را متنوع کرد و دقت را در انواع زباله‌ها بهبود بخشید، به‌طوری‌که نتایج محاسباتی، دقت این مدل را بیش از ۹۶/۵۴ درصد نشان داد. گائو و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی با عنوان بررسی یادگیری ماشین در مدیریت زباله‌های ساخت‌وساز و تخریب بیان می‌کنند که یادگیری ماشین در چهار حوزه اصلی و ۱۵ زیرشاخه، به‌طور خاص در زمینه‌های تولید زباله‌های ساخت‌وساز و تخریب، جابجایی در محل، حمل‌ونقل و دفع استفاده می‌شود. مدل‌های مختلفی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، یادگیری عمیق، شبکه‌های عصبی پیچیده و ماشین‌های بردار پشتیبان، اثربخشی خود را در فرآیندهای مختلف مدیریت زباله‌های ساخت و ساز و تخریب نشان داده‌اند. فدوی (۱۴۰۱) در بررسی روشی نوین در مدیریت پسماند با کمک هوش‌مصنوعی و اینترنت اشیا نشان داد که هشت راه اساسی برای استراتژی مدیریت پسماند وجود دارد که هر کدام به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. آن‌ها شامل بازیافت و استفاده از زباله، خوراک دام، بازیافت، کمپوست‌سازی، تخمیر، دفن زباله، سوزاندن و کاربرد خاک است. ما چندین تکنیک صوتی مانند احیا و استفاده از زباله برای کمک به استفاده مجدد از مواد قابل‌بازیافت را بررسی می‌کنیم. خوشبختانه، اینترنت اشیا می‌تواند در هر مرحله از مدیریت زباله کمک کند. دوستی و بیژنی (۱۴۰۰) در بررسی استفاده از هوش‌مصنوعی در پیش‌بینی دبی بحرانی مایعات زباله در چاه‌های گاز بیان نمودند که یکی از این چالش‌ها هدررفت مایعات در چاه‌های گاز است که ناشی از افت فشار در مخزن و کاهش دبی تولید گاز پس از یک دوره تولید از چاه است. تجمع قطرات مایع در چاه گاز می‌تواند با تشکیل ستونی از مایع از تولید گاز جلوگیری کند و سرمایه زیادی از تولید گاز به صفر می‌رسد. به همین دلیل لازم است با تنظیم دبی به مقداری بالاتر از نرخ بحرانی قبل از وقوع این پدیده به کاهش وقوع این پدیده کمک کرد تا تولید از چاه گاز ادامه یابد و سرمایه فراوان گاز به‌وجود آید. تولید از مخزن در دسترس است. تاکنون مطالعات زیادی در ارتباط با مدیریت پسماند و هوش‌مصنوعی صورت گرفته است، اما هیچ‌کدام به کاربرد هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند تمرکز نکردند. بیشتر کاربرد هوش‌مصنوعی در مدیریت منابع‌انسانی مانند مشخص کردن حقوق، غربالگری داوطلبان، اشتغال داوطلبان، مشارکت و توسعه کارکنان و غیره بوده است. اما پژوهش حاضر سعی در کاربرد هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند جهت حفظ محیط‌زیست در مقابل نخاله‌های ساختمانی دارد. هر ساله پسماندهای ساختمانی در حال افزایش است. انجام فعالیت‌های عمرانی امری لازم و اجتناب‌ناپذیر بوده که باعث توسعه وضعیت اجتماعی و اقتصادی می‌شود. اما تولید گردوغبار و سروصداهای مختلف نیز بر روی شرایط محیط‌زیست تاثیر زیادی خواهد گذاشت و ضایعات نیز نه تنها جلوه ناخوشایندی ایجاد کرده، بلکه سبب از بین بردن طبیعت بکر و دست‌نخورده خواهند شد. تجمع مصالح و ضایعات عمرانی باعث ایجاد مکان مناسب جهت رشد حشرات موذی و در نتیجه بروز بیماری و آلودگی خواهد شد. در برخی از مواقع انباشته شدن نخاله‌ها در کنار مناطق مسکونی، سلامت اهالی آن منطقه را تهدید کرده و پناهگاهی برای حیوانات و حشرات ایجاد می‌نماید. علاوه بر این مسائل، تخلیه نخاله‌ها در جاده‌ها و راه‌ها نیز منجر به آلودگی زیست‌محیطی شده و هم‌چنین باعث ایجاد خسارت‌های مال و سد معبر بودن گردد.

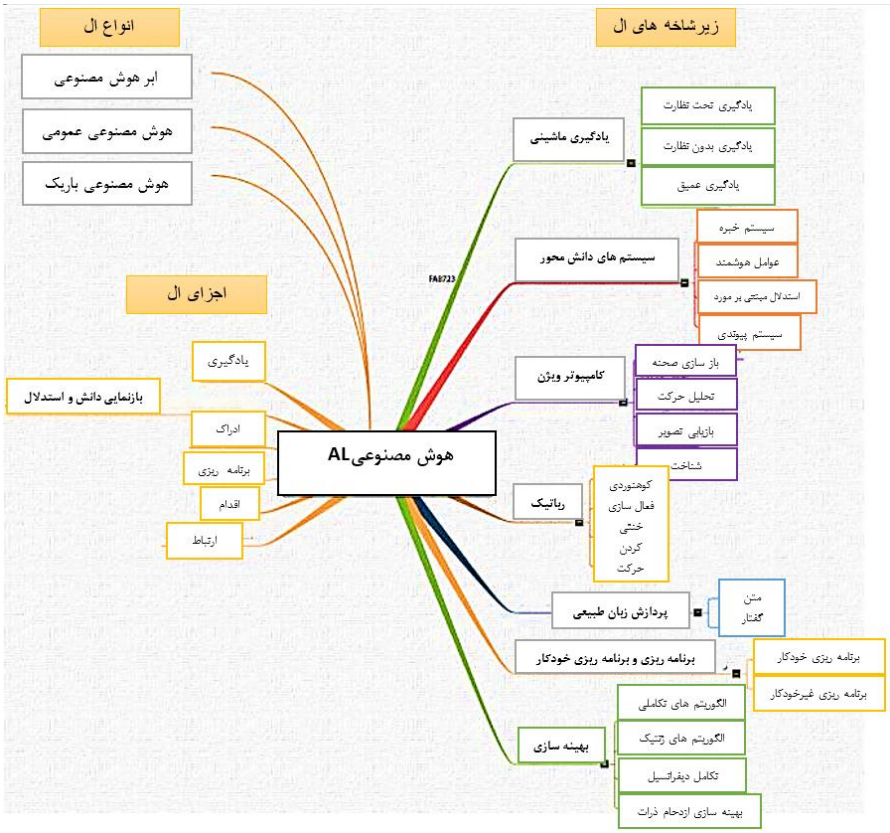
مروری بر هوش‌مصنوعی و زیرشاخه های آن

ایده توسعه ماشین‌هایی با هوش انسانی به بسیاری از حوزه‌ها از جمله فلسفه، داستان، تخیل، محاسبات، الکترونیک و اختراعات فنی باز می‌گردد (بوکان ۲۰۱۵). آزمون آلن تورینگ (۲۰۱۹) نقطه عطفی در زمینه هوش‌مصنوعی بود، زیرا این آزمون فراتر از دیدگاه‌های الهیاتی سنتی و نتایج ریاضی در خصوص امکان‌پذیری ماشین‌های هوشمند را بررسی کرد. شصت سال پس از آن، ماشین‌های هوشمند در بسیاری از زمینه‌ها، به‌ویژه در یادگیری (ارتل ۲۰۱۸)، به پیشرفت‌های چشم‌گیری دست یافته‌اند و موفق‌تر از همیشه در بهره‌گیری از دستاوردهای فناوری‌های دیگر مانند داده‌های کلان و قدرت محاسباتی هستند (برینیولفسون و همکاران ۲۰۱۹). فرضیه های این تحقیق به شرح زیر می باشند:

الف) مهارت‌های هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارد.

ب) تمایل به هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارد.

هدف از انجام این مطالعه بهینه‌سازی فرآیند تخریب، بازیافت و کاهش زباله‌های ساختمانی با استفاده از یادگیری ماشین و بررسی امکان ایجاد سیستم یا نرم‌افزار مدیریت پسماند ساختمانی مبتنی بر هوش‌مصنوعی در شهر اصفهان می باشد.



شکل ۱- اجزاء، انواع و زیرشاخه‌های هوش‌مصنوعی

مواد و روش‌ها

روند کاربرد هوش‌مصنوعی در صنعت ساخت‌وساز

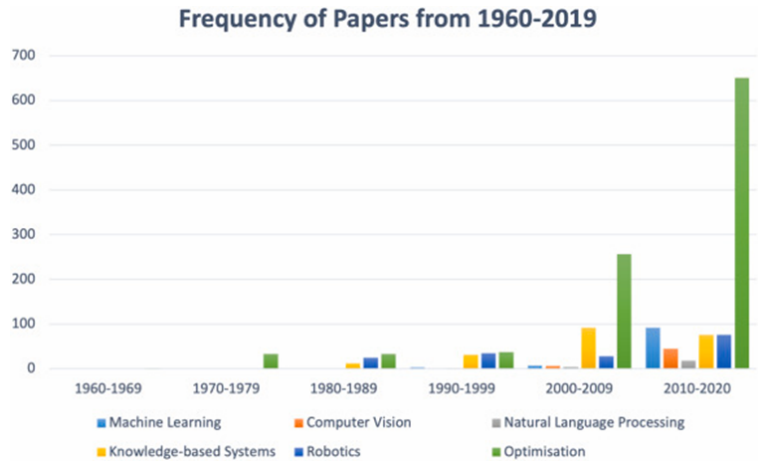
رف و همکاران (۲۰۲۰) در تعریف هوش مصنوعی بیان می‌کنند که «هوش‌مصنوعی مطالعه چگونگی وادار کردن ماشین‌ها به انجام کارهایی است که در حال حاضر انسان‌ها بهتر از ماشین‌ها انجام می‌دهند»، که به‌خوبی مفهوم هوش‌مصنوعی را بیان می‌کند. شکل ۱ یک نمای کلی از انواع، اجزا و زیرشاخه‌های هوش‌مصنوعی را نشان می‌دهد. سه نوع اصلی هوش‌مصنوعی وجود دارد: هوش‌مصنوعی محدود (باریک)، هوش‌مصنوعی عمومی و هوش‌مصنوعی فوق‌العاده (یا ابرهوش). ابرهوش به توسعه ماشین‌هایی می‌پردازد که توانایی‌هایی فراتر از انسان در چندین حوزه دارند (بام و همکاران ۲۰۱۷).

اجزای اصلی هوش‌مصنوعی، همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، عبارتنداز:

۱- یادگیری، ۲- بازنمایی دانش، ۳- ادراک، ۴- برنامه‌ریزی، ۵-عمل و ۶- ارتباط (راسل و نورویگ ۲۰۱۶). برخی از مطالعات نیز این اجزا را به‌عنوان وظایف قابل انجام توسط هوش‌مصنوعی در مقایسه با حواس انسان طبقه‌بندی کرده‌اند.

شکل ۲ به وضوح روند افزایش تعداد انتشارات در حوزه هوش‌مصنوعی را از دهه ۱۹۶۰ به بعد نشان می‌دهد. در دهه ۱۹۶۰، استفاده از هوش‌مصنوعی هنوز در مراحل ابتدایی خود بود و تنها تعداد محدودی از نشریات به بررسی تکنیک‌های بهینه‌سازی می‌پرداختند. با گذشت زمان، بهینه‌سازی به یکی از حوزه‌های اصلی تحقیقاتی در کاربرد زیرشاخه‌های هوش‌مصنوعی

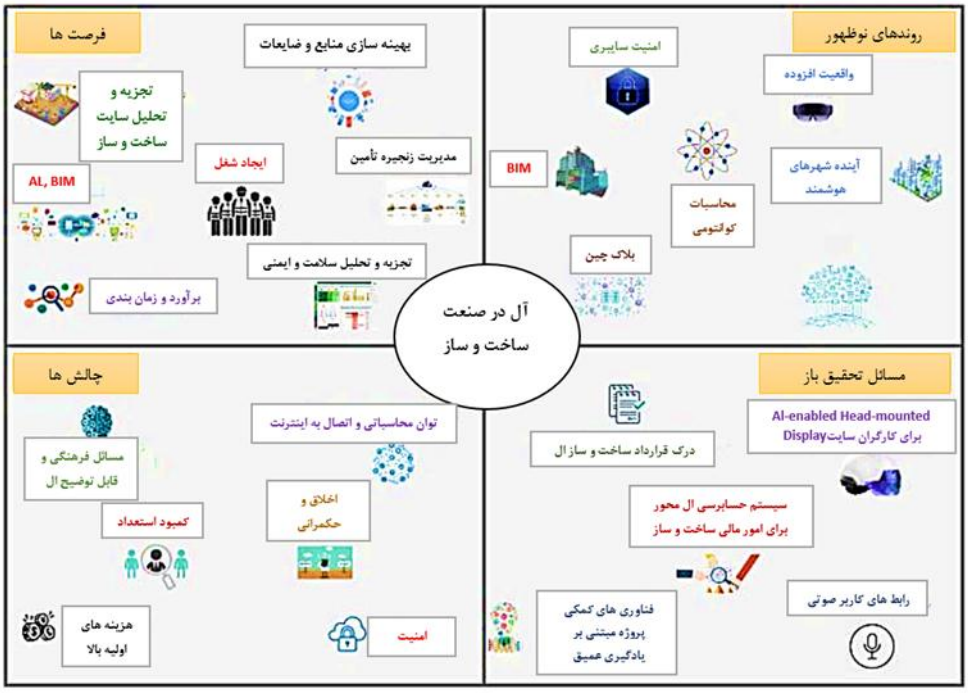
در صنعت ساخت‌وساز تبدیل شد. این تغییر روند را می‌توان به تلاش طولانی‌مدت این بخش برای غلبه بر مشکلات بهره‌وری پایین نسبت داد. یکی دیگر از جنبه‌های مهم روند تحقیقات در طول سال‌ها این است که یادگیری ماشینی در دهه‌های اخیر از سیستم‌های مبتنی بر دانش پیشی گرفته و به زیرگروه مورد علاقه در صنعت ساخت‌وساز تبدیل شده است. این تحول به نیاز رو به رشد برای مقابله با کمبود نیروی کار و مهارت‌های تخصصی در این صنعت بازمی‌گردد. علاوه‌بر این، رباتیک نیز با معرفی فناوری‌هایی مانند چاپ سه‌بعدی، اسکلت‌های بیرونی و هواپیماهای بدون سرنشین در فرآیندهای ساخت‌وساز، در خط مقدم کاربردهای هوش‌مصنوعی در این بخش قرار گرفته است (توریز و همکاران ۲۰۱۷). با این‌حال، پردازش زبان طبیعی هم‌چنان کم‌ترین حوزه مورد مطالعه در صنعت ساخت‌وساز باقی مانده است.



شکل ۲- فراوانی مقالات از ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰

بهینه‌سازی منابع و ضایعات

با توجه به توسعه مداوم و سریع صنعت ساخت‌وساز، هر ساله میزان قابل‌توجهی زباله‌های ساختمانی و تخریب تولید می‌شود (داهبو و همکاران ۲۰۱۵، شان و همکاران ۲۰۱۸). این فعالیت‌ها اثرات منفی بر محیط‌زیست، منابع‌طبیعی و انسانی در سراسر جهان دارند (بلال و همکاران ۲۰۱۶). در این راستا، شاهد یک تغییر پارادایم در رویکردهای مدیریت پسماند هستیم که از هوشمندی زباله به رویکردهای پیش‌گیرانه مبتنی بر داده منتقل شده است. این رویکرد جدید شامل تجزیه‌وتحلیل زباله است که هدف آن کاهش ضایعات از طریق طراحی بهینه است. به‌طور فزاینده‌ای از محیط‌های محاسباتی مجازی کم هزینه، مانند بیم، برای فعال‌سازی طراحی‌های ساخت‌وساز با هدف کاهش تولید زباله استفاده می‌شود (آش کومار و ورگزه ۲۰۱۸). پتانسیل تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل داده‌های پیشرفته برای ایجاد پروفایل‌های دقیق‌تر از تولید زباله، به‌طور چشم‌گیری برجسته شده است. بنابراین، استفاده از تجزیه‌وتحلیل داده‌های پیشرفته می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی ضایعات را کاهش دهد. تجزیه‌وتحلیل زباله به انواع داده‌ها از منابع مختلف مانند طرح‌های ساخت‌وساز، خواص مواد و استراتژی‌های ساخت‌وساز بستگی دارد که امکان انجام محاسبات با کارایی بالا و پردازش در زمان واقعی را فراهم می‌کند (آکینده و اویدل ۲۰۱۹). حجم زیاد داده‌ها نیازمند استفاده از تکنیک‌های تجزیه‌وتحلیل داده‌های پیشرفته است تا این داده‌ها به اطلاعات مرتبط و قابل استفاده برای به حداقل رساندن زباله تبدیل شوند. این امر مستلزم به‌کارگیری تکنیک‌های هوش‌مصنوعی برای مدیریت مؤثر زباله است (آکینده و همکاران ۲۰۱۹). به‌ویژه، استفاده از تکنیک‌های پیشرفته هوش‌مصنوعی همراه با بیم برای بهینه‌سازی طراحی ساخت‌وساز خارج از سایت، انتخاب مواد، استفاده مجدد و بازیابی، تدارکات کم‌مصرف، ساختارشکنی و انعطاف‌پذیری بسیار کارآمد است. جدول ۳ به‌طور خلاصه فرصت‌های پیشرفته و بالقوه در این زیردامنه را نشان می‌دهد. تا به امروز، این مطالعه فرصت‌ها و روندهای نوظهور را در کاربرد هوش‌مصنوعی در فرآیندهای ساخت‌وساز شناسایی کرده است. برای تقویت بیشتر این حوزه از دانش، شناسایی و بحث در مورد چالش‌های کلیدی ضروری است. شکل ۳ فرصت‌ها، روندهای نوظهور، چالش‌ها و مسائل تحقیقاتی باز در حوزه هوش‌مصنوعی در صنعت ساخت‌وساز را نشان می‌دهد.



شکل ۳- فرصت ها، روندهای نوظهور، چالش‌ها و مسائل تحقیقاتی باز

پسماند

طبق تعریف سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، پسماندها مواد اجتناب‌ناپذیری هستند که به‌دنبال فعالیت‌های انسانی تولید می‌شوند و در حال حاضر و در آینده نزدیک نیازی به آنها نیست. بنابراین تصفیه یا دفع آن‌ها ضروری است. از سوی دیگر، برنامه محیط‌زیست سازمان ملل، زباله را به‌عنوان اشیائی تعریف می‌کند که صاحب آن دیگر نیازی به آن ندارد، نمی‌خواهد از آن استفاده کند و باید تغییر شکل داده یا از بین برود. با این‌حال، زباله‌ها محصول جانبی فعالیت‌های انسانی هستند. از نظر فیزیکی، زباله حاوی موادی مشابه محصولات مفید است و تنها تفاوت آن‌ها این است که این مواد دیگر بی‌فایده یا غیرارزشمند تلقی می‌شوند. در بسیاری از موارد، این عدم ارزش به‌دلیل مخلوط شدن یا ناشناخته بودن مواد در زباله‌ها است. طبقه‌بندی زباله‌ها می‌تواند یکی از روش‌های افزایش ارزش مواد و یافتن کاربردهای جدید برای آن‌ها باشد. به‌طور کلی، بین مقدار زباله مخلوط و ارزش آن رابطه معکوس وجود دارد (مرکز تحقیقات و برنامه‌ریزی شهری تهران ۲۰۱۳: ۲۰۷).

مدیریت جامع پسماند و پیاده‌سازی آن

مدیریت یکپارچه پسماند یک سیستم است که جریان، جمع‌آوری، روش‌های تصفیه، بازیافت و دفع پسماند را به‌طور هماهنگ و در تعامل با دیگر بخش‌ها مدیریت می‌کند تا اهداف زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مطلوب در یک منطقه خاص به‌دست آید. به‌عبارت دیگر، مدیریت پایدار پسماند باید از نظر زیست‌محیطی مؤثر، از نظر اجتماعی مقبول و از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه باشد. بر اساس دیدگاه اندیشمندان، مؤثرترین ویژگی‌های یک سیستم مدیریت پایدار پسماند عبارتند از:

- **جامعیت سیستم:** این سیستم باید تمامی انواع مواد و منابع تولیدکننده پسماند را پوشش دهد. این رویکرد دیدگاهی کلی از فرآیند مدیریت پسماند فراهم می‌کند که برای برنامه‌ریزی استراتژیک ضروری است.
- **مقبولیت اقتصادی و بازار-محوری:** فرآیندها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که ارزیابی اقتصادی و کارایی سیستم به‌طور کلی امکان‌پذیر باشد. دستیابی به یک سیستم جامع مدیریت پسماند نیازمند تغییرات اساسی در وضعیت کنونی است.
- **انعطاف‌پذیری:** یک سیستم مؤثر باید در طراحی، انطباق و اجرای خود انعطاف‌پذیر باشد تا در طول زمان و تحت شرایط مختلف، کارایی خود را حفظ کند. از منظر زیست‌محیطی، تمامی سیستم‌های مدیریت پسماند بخشی از اکوسیستم کلی هستند و تنها با یک دیدگاه کل‌نگر می‌توان از بروز فشارهای مضاعف در مناطق دیگر جلوگیری کرد.

• **مقیاس:** برای دست‌یابی به یکنواختی در کمیت و کیفیت مواد بازیافتی، کمپوست یا انرژی، نیاز به گزینه‌های مدیریتی مختلف و مزایای اقتصادی، مقیاس بزرگتر و منطقه‌ای ترجیح داده می‌شود.

• **مقبولیت اجتماعی:** برای اجرای مؤثر سیستم مدیریت پسماند، مشارکت عمومی ضروری است (گارنت و همکاران ۲۰۱۷: ۲۲۱-۲۱۰). مردم باید نقش خود را در سیستم به‌خوبی درک کرده و با آن همکاری کنند. فرآیندهای مختلف در یک سیستم مدیریت جامع پسماند (جمع‌آوری، انتقال، دفع، پردازش و بازیافت) باید کاملاً با یکدیگر در ارتباط باشند. بنابراین، داشتن یک چشم‌انداز جامع از کل سیستم مدیریت پسماند ضروری است، زیرا هدف این سیستم، دست‌یابی به پایداری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی به‌طور همزمان است.

روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی، از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و روش جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت اسنادی و پیمایشی انجام می‌شود. به‌منظور ارزیابی معیارها و شاخص‌هایی که از مستندات علمی استخراج شده‌اند، از ابزار پرسش‌نامه استفاده گردید. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس و آزمون فریدمن و تحلیل واریانس انجام خواهد شد تا مؤلفه‌های تأثیرگذار بر مدیریت پسماند ساختمانی که می‌توانند در کاربرد هوش‌مصنوعی مورد استفاده قرار گیرند، استخراج شوند. پس از گردآوری داده‌ها و تکمیل پرسش‌نامه‌ها، از مدل‌یابی معادلات ساختاری برای تحلیل نهایی استفاده خواهد شد.

برای تهیه پرسش‌نامه، ابتدا موضوعات و مقالات مشابه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. با توجه به تطابق نتایج به‌دست آمده با پرسش‌نامه مدیریت هوش‌مصنوعی طراحی شده توسط چن و همکاران (۲۰۲۲)، پنج بعد اصلی شامل مدیریت هوش‌مصنوعی، تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش‌مصنوعی، زیرساخت‌های هوش‌مصنوعی، مهارت‌های هوش‌مصنوعی و تمایل به هوش‌مصنوعی به‌عنوان زمینه اصلی طراحی سوالات انتخاب شدند (جدول ۱). این پرسش‌نامه شامل ۲۲ سوال بوده که با روش دلفی و نظر کارشناسان ارگان دولتی (مهندسین عمران شاغل در مراکز دولتی، نظام مهندسی، سازمان خدمات عمرانی شهر اصفهان) تدقیق گردید و هدف آن بررسی کاربرد هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی است. طیف پاسخ‌گویی پرسش‌نامه از نوع لیکرت بوده و روایی پرسش‌نامه از طریق ضریب همبستگی به‌دست آمد.

جدول ۱- سازه‌های هوش‌مصنوعی مدیریت

سازه‌ها	نماد	تعداد گویه‌ها	شماره پرسش‌ها
مدیریت هوش‌مصنوعی[۱]	AIM	۳	۱ تا ۳
تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش‌مصنوعی[۲]	AIDM	۴	۴ تا ۷
زیرساخت‌های هوش‌مصنوعی[۳]	AIB	۵	۸ تا ۱۲
مهارت‌های هوش‌مصنوعی[۴]	AIS	۵	۱۳ تا ۱۷
تمایل به هوش‌مصنوعی[۵]	AIP	۵	۱۸ تا ۲۲
کل پرسشنامه	AI	۲۲	۱ تا ۲۲

روایی و پایایی

برای سنجش روایی پرسش‌نامه از تحلیل عاملی تاییدی استفاده کردند. روایی هم با استفاده از روایی واگرا و هم روایی همگرا ارزیابی و تایید شد. برای سنجش پایایی نیز آلفای کرونباخ محاسبه شد. آلفای کرونباخ کلی پرسشنامه ۰/۹۱۳ محاسبه شد و برای تک تک ابعاد نیز بالای ۰/۷ گزارش شده است.

[۱] Artificial intelligence management
[۲] Artificial intelligence driven decision making
[۳] Artificial intelligence basic
[۴] Artificial intelligence skills
[۵] Artificial intelligence proclivity

نتایج و بحث

یافته‌های تحقیق، که به‌صورت کمی است، در دو بخش توصیفی و استنباطی بیان شده است. برای آزمون از ابزار گردآوری داده‌ها که شامل پرسش‌نامه‌ای با ۲۲ سؤال است و نیز برای جواب سؤالات از طی پنج‌گزینه‌ای لیکرت استفاده شده است. این پرسش‌نامه در اختیار ۱۲۷ نفر از مهندسین گرایش عمران قرار گرفته است. پرسش‌نامهٔ موردنظر با توجه به شش شاخصهٔ مربوط به هوش‌مصنوعی تدوین شده است.

محاسبهٔ آلفای کرونباخ

پایایی پرسش‌نامه با استفاده از آزمون آلفای کرونباخ مشخص شده است. آزمون آلفای کرونباخ، که برای ارزیابی قابلیت اعتماد یا پایایی پرسش‌نامه‌های طراحی‌شده به‌صورت طیف لیکرت و با پاسخ‌های چندگزینه‌ای استفاده می‌شود، یک آزمون آماری است که حاصل آن یک ضریب به نام آلفای کرونباخ می‌باشد. معمولاً هرچه میزان این ضریب از ۰/۷ بیشتر و به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده مناسب بودن پرسش‌نامه است. اگر ضریب آلفای کرونباخ بین ۰/۵ تا ۰/۷ باشد، پرسش‌نامه قابل‌قبول و اگر کمتر از ۰/۵ باشد، آن را نامناسب ارزیابی می‌کنند. از مجموع ۱۲۷ نفر نمونه موردنظر در این پژوهش، ۱۲۳ نفر به کلیه سؤالات پاسخ داده‌اند و تنها ۴ نفر از پاسخ‌دهندگان به تمامی سؤالات پاسخ نداده‌اند. پس از محاسبه ضریب آلفای کرونباخ، میزان این ضریب برابر با ۰/۸۴۸ به‌دست آمد که نشان‌دهنده مناسب بودن پرسش‌نامه و انسجام بیشتر بین متغیرهاست (جدول ۲).

جدول ۲- آزمون پایایی و آمار قابل اعتماد با استفاده از آلفای کرونباخ (نگارندگان)

آلفای کرونباخ	تعداد سؤالات
۰/۸۴۸	۲۲

یافته‌های توصیفی

بررسی ویژگی‌های پاسخ‌دهندگان به سؤالات تحقیق در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاصل از یافته‌های توصیفی نشان می‌دهد که از میان پاسخ‌دهندگان، گروه سنی ۲۰ تا ۴۰ سال با بیش از ۵۴ درصد و از نظر سطح تحصیلات، افراد با مدرک لیسانس با بیش از ۶۰ درصد بیش‌ترین تعداد را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۳- ویژگی‌های پاسخگویان به سؤالات تحقیق (نگارندگان)

ویژگی	طبقات	تعداد	درصد
سن	۳۰-۲۰ سال	۴۷	۲۵/۸۲
	۴۰-۳۱ سال	۵۲	۲۸/۵۷
	۵۰-۴۱ سال	۵۶	۳۰/۷۷
	بالاتر از ۵۱ سال	۲۷	۱۴/۸۴
سطح تحصیلات	فوق‌دیپلم	۴۵	۲۴/۴۵
	لیسانس	۱۱۰	۶۰/۴۴
	فوق‌لیسانس	۲۷	۱۴/۸۳
	دکتری	۱۱	۷/۰۵

آزمون پیرسون

در آزمون پیرسون، ضریب هم‌بستگی پیرسون مقداری بین ۱ تا ۱- را نشان می‌دهد. هرچه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده هم‌بستگی مثبت بین متغیرهاست. از سوی دیگر، هر چه این مقدار به ۱- نزدیک‌تر شود، نشان‌دهنده هم‌بستگی منفی بین متغیرهاست. همچنین، هر چه مقدار ضریب معناداری کمتر از ۰/۰۵ باشد، نشان‌دهنده رابطه معنادار بین متغیرهاست.

بررسی فرضیات پژوهش با استفاده از آزمون پیرسون

فرضیه‌های اختصاصی:

• زیرساخت‌های هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارند.

• تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارد.

در این‌جا، هوش‌مصنوعی به‌عنوان متغیر مستقل و پسماند ساختمانی به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. با توجه به محاسبات انجام شده و مقدار رابطه به‌دست‌آمده، مشخص شد که زیرساخت‌ها و تصمیم‌گیری مبتنی بر هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان تأثیرگذار هستند، چرا که مقدار سیگ به‌دست‌آمده کمتر از ۰/۰۵ است و بنابراین این فرضیه تأیید می‌شود (جدول ۴).

جدول ٤- آزمون هم‌بستگی پیرسون (نگارندگان)

		زیرساخت‌ها و تصمیم‌گیری مبتنی هوش‌مصنوعی
پسماند ساختمانی	Pearson Chi-Squre	۰/۵۳۵
	Sig	۰/۰۰۰

فرضیه اختصاصی:

• مهارت‌های هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارند.

• تمایل به هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان نقش دارد.

در این فرضیه، مهارت‌ها و تمایل به هوش‌مصنوعی به‌عنوان متغیرهای مستقل و پسماند ساختمانی به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به اینکه ضریب معناداری کمتر از ۰/۰۵ است، می‌توان نتیجه گرفت که بین مهارت‌ها و تمایل به هوش‌مصنوعی با مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان رابطه معناداری وجود دارد (جدول ۵).

جدول ٥- آزمون همبستگی پیرسون (نگارندگان)

		مهارت‌ها و تمایل به هوش‌مصنوعی
مدیریت پسماند ساختمانی	Pearson Chi-Squre	۰/۳۱۵
	Sig	۰/۰۰۰

مدل‌سازی معادلات ساختاری

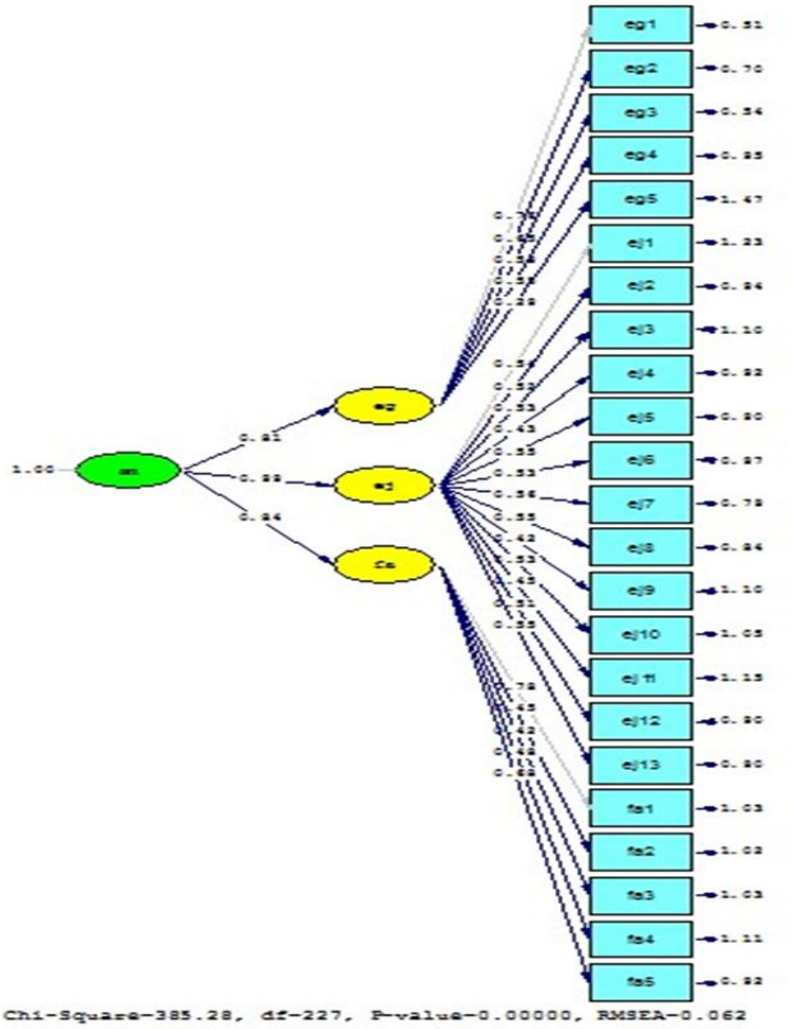
بر اساس مدل مفهومی تحقیق، این پژوهش شامل ۲۳ متغیر تأثیرگذار است که در سه بخش اصلی (هوش‌مصنوعی، مدیریت پسماند، شهر اصفهان) اندازه‌گیری می‌شود. برای انجام این تحلیل، از نرم‌افزار لیزرل استفاده شده است. به‌عبارت دیگر، پس از بررسی نظریه‌های تحقیق و ارزیابی مدل مفهومی، با استناد به نتایج اولیه مدل به‌دست آمده در لیزرل، عمده‌ترین متغیرهایی که می‌توانستند برای الگوسازی مفید واقع شوند، انتخاب شدند. در مجموع، مدل معادلات ساختاری به‌عنوان روشی برای توضیح یک سیستم ارتباطی میان متغیرها در نظر گرفته می‌شود. در تحلیل مسیر، ۲۳ متغیر تأثیرگذار بر سه متغیر مستقل، وابسته و میانجی مشخص شدند. هوش‌مصنوعی (۵ گویه ۱ eg: تا ۵)، مدیریت پسماند ساختمانی (۱۳ گویه ۱ ej: تا ۱۳)، شهر اصفهان (۵ گویه ۱ fa: تا ۵). این مدل، مطابق با شاخص‌های برازش الگویی که در آزمون شده‌اند، برازش مناسبی با داده‌های گردآوری‌شده دارد. شاخص‌های برازش به شرح جدول ۶ است و شاخص ریشه میانگین مربعات خطای برآورد برابر با ۰/۶۲ است که در محدوده قابل‌قبول قرار دارد. بنابراین، با توجه به این مقدار، مدل از برازش قابل‌قبولی برخوردار است. همچنین، شاخص نیکویی برازش مطلوب مدل بیشتر از ۰/۹۴ است که نشان‌دهنده برازش قابل‌قبول است. شاخص برازش هنجار شده برابر با ۱ است که در محدوده قابل‌قبول قرار دارد و چون مقدار آن برای برازش مطلوب مدل باید برابر یا بیشتر از ۰/۹ باشد، مدل از برازش مناسب برخوردار است.

شاخص برازش هنجار نشده برابر با ۱/۱۳ است که در محدوده بالاتر از یک قرار دارد، اما چون مقدار قابل‌قبول آن برای برازش مطلوب مدل باید برابر یا بیشتر از ۰/۹ باشد، این شاخص نیز نشان‌دهنده برازش قابل‌قبول مدل است. شاخص برازش افزایشی برابر با ۱/۱۱ است که همچنان در محدوده قابل‌قبول قرار دارد و نشان‌دهنده برازش مناسب مدل است. در نهایت، شاخص تطبیقی برابر با ۱ است که از نظر مقادیر قابل‌قبول برای برازش مطلوب مدل نیز بیشتر از ۰/۹ است، لذا مدل از برازش خوبی برخوردار است. بر اساس برآورد ضرایب استاندارد شده مدل ساختاری تحقیق، سطح معناداری ۰/۰۶۲ = a به‌دست آمده است.

جدول ٦- شاخص‌های نیکویی برازش مدل ساختاری امنیت محیطی، مأخذ: نگارندگان

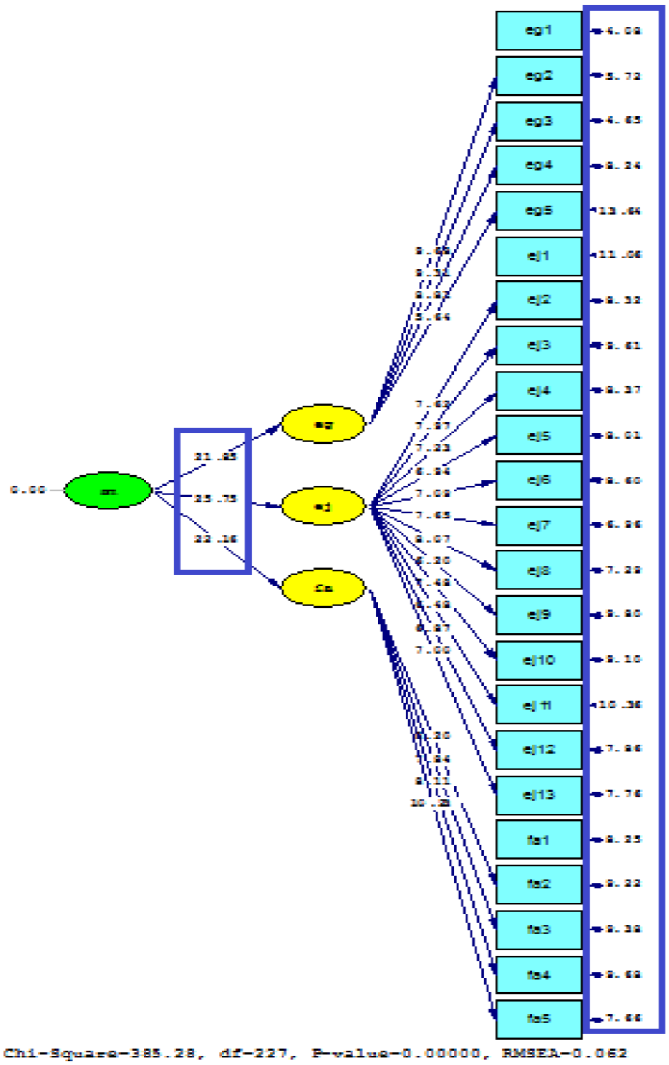
نام شاخص	نتایج به‌دست‌آمده	برازش قابل‌قبول و مطلوب (درصد)
شاخص نیکویی برازش	۰/۹۴	(مساوی یا بیشتر از ۰/۹) ۰/۹ ≤GFI
شاخص برازش ناهنجار	۱۱۳	(مساوی یا بیشتر از ۰/۹) ۰/۹ ≤NNFI
شاخص برازش تطبیقی		(مساوی یا بیشتر از ۰/۹) ۰/۹ ≤CFI
شاخص برازش افزایش		(مساوی یا بیشتر از ۰/۹) ۰/۹ ≤IFI
شاخص نیکویی برازش اصلاح شده	/ ۱ ۱/۱۱ ۱ ۱ ۰/۹۰ ۰/۰۶۲	(مساوی یا بیشتر از ۰/۹) ۰/۹ ≤RFI
شاخص برازش ناهنجار		(مساوی یا بیشتر از ۰/۹) ۰/۹ ≤NFI
شاخص برازش تعدیل‌یافتهٔ هنجار شده		(مساوی یا بیشتر از ۰/۶) ۰/۶ ≤PNFI
شاخص ریشهٔ میانگین مربعات خطای برآورد		(مساوی یا کمتر از ۰/۱) RMSEA≤۰/۱

هرچه بار عاملی بزرگ‌تر و به عدد یک نزدیک‌تر باشد، به این معناست که متغیر مشاهده شده می‌تواند بهتر متغیر پنهان را تبیین کند. به‌عبارت دیگر، اگر بار عاملی نزدیک به یک باشد، نشان‌دهنده بالاترین تاثیرگذاری میان سایر عوامل است. از سوی دیگر، اگر بار عاملی کمتر از ۰/۳ باشد، رابطه ضعیف در نظر گرفته می‌شود (که نشان‌دهنده کم‌ترین تاثیرگذاری میان عوامل است). همچنین، بار عاملی بین ۰/۳ تا ۰/۶ قابل‌قبول درنظر گرفته می‌شود و نشان‌دهنده تاثیرگذاری متوسط است. نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد که بین سه بخش (هوش‌مصنوعی، مدیریت پسماند ساختمانی و شهر اصفهان) در بخش هوش‌مصنوعی از پنج عامل مورد نظر، چهار عامل امتیازهای بالای ۰/۳ دارند. در حالی‌که در بخش مدیریت پسماند ساختمانی، از ۱۳ عامل، تمامی ۱۳ عامل فعال هستند و از ۵ عامل در بخش شهر اصفهان، ۵ عامل امتیازات بالای ۰/۳ دارند. در تحقیق حاضر، مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در کاربرد هوش‌مصنوعی مشخص شدند که مطابق با نتایج جزئی حاصل از بررسی‌ها و مطالعات مدل ساختاری در شکل ۴ قابل مشاهده است، به ترتیب در شکل ۵، همبستگی بین متغیر مستقل بیرونی (متغیر مستقل) و مؤلفه‌های متغیر مستقل درونی و متغیر وابسته مشاهده می‌شود.



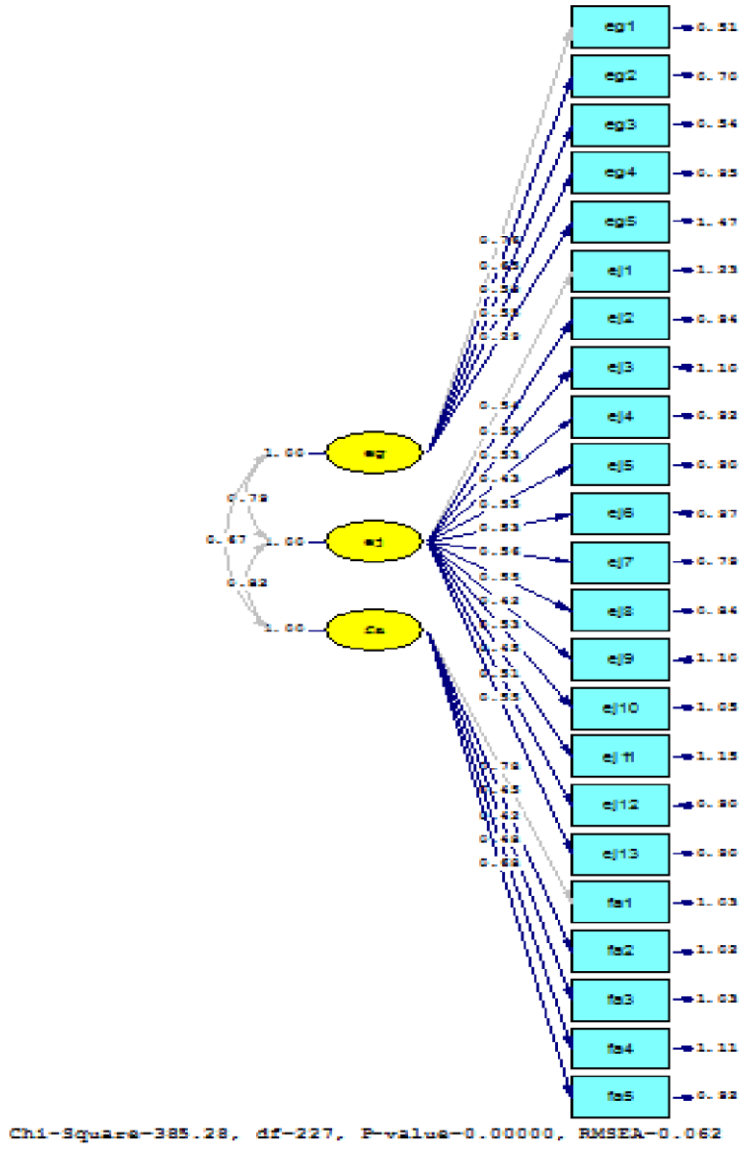
شکل ٤- خروجی استاندارد شدهٔ مدل‌سازی معادلات ساختاری برای کاربرد هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان

نتایج و یافته‌ها نشان‌دهنده اعداد معناداری مربوط به مؤلفه‌ها و متغیرهای مکنون درونی و بیرونی مرتبط با هرکدام (اعم از بار عاملی و خطاهای آن) و همچنین همبستگی بالا بین متغیرهای مکنون است، چراکه معناداری اعداد (T-value) از ۱/۹۶ بزرگ‌تر است. مطابق شکل۵، معناداری اعداد در (T-value) به این‌صورت است که از ۱/۹۶ بیش‌تر است و اگر مقدار عددی مطلق در هرکدام از اعداد جلو مربع‌ها در سمت راست کمتر از ۱/۹۶ باشد، رابطه به‌عنوان "مشکل‌دار" به رنگ قرمز نشان داده می‌شود که نشان‌دهنده این است که هم‌بستگی مشاهده‌شده در حالت استاندارد نیست. بنابراین، با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده در تحقیق، همه مقادیر (T-value) پذیرفته شده‌اند و نتایج نشان‌دهنده و تأییدکننده معناداری رابطه بین شاخص‌های کاربرد هوش‌مصنوعی و مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان است.



شکل ۵- خروجی T-value مدل سازی معادلات ساختاری برای کاربرد هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان

در شکل ۶ نتایج و یافته‌های حاصل از تحلیل در مدل ساختاری مربوط به ارتباط بین مؤلفه‌های متغیر پنهان درونی پژوهش نشان داده شده است. طبق این نتایج، نوعی هم‌بستگی و ارتباط منطقی و معنادار بین مؤلفه‌ها به‌وجود آمده است. به‌طوری‌که بیشترین میزان هم‌بستگی بین شاخص کاربرد هوش‌مصنوعی و مدیریت پسماند ساختمانی با مقدار ۰/۸۲ مشاهده می‌شود. پس از آن، همبستگی بین شاخص هوش‌مصنوعی و شهر اصفهان برابر با ۰/۷۹ و سپس هم‌بستگی بین شاخص مدیریت پسماند ساختمانی و شاخص شهر اصفهان برابر با ۰/۶۷ است. این نتایج بیانگر تأثیرگذاری شاخص‌های کاربرد هوش‌مصنوعی بر مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان است.



شکل ٦- خروجی Y-Model مدل‌سازی معادلات ساختاری برای کاربرد هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی در شهر اصفهان

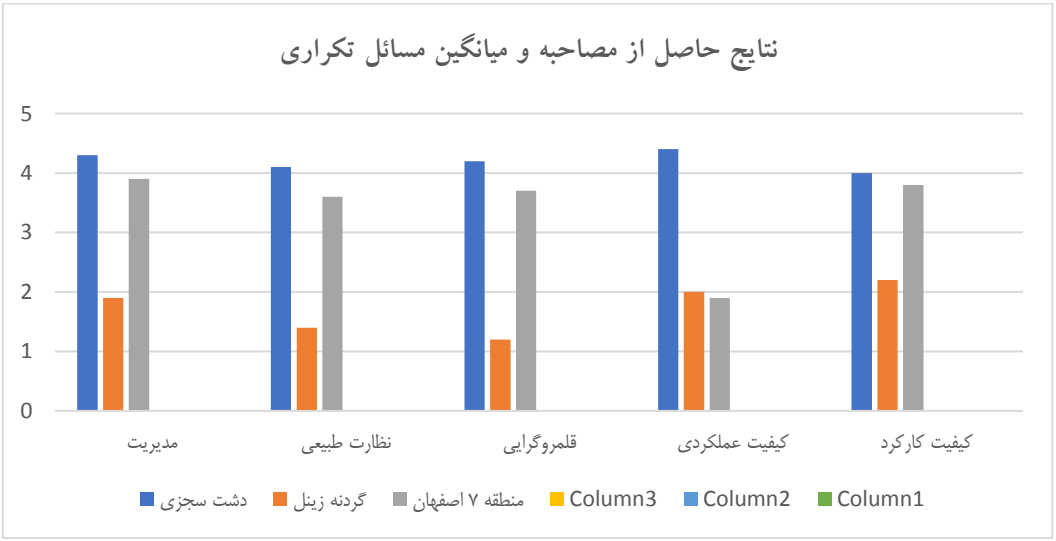
یافته‌های حاصل از مصاحبه

علاوه بر پرسش‌نامه ارزیابی مؤلفه‌ها و معیارهای تأثیرگذار بر کاربرد هوش‌مصنوعی در مدیریت پسماند ساختمانی، بر اساس مصاحبه‌های انجام‌شده با مهندسین عمران در شهر اصفهان، مناطق گردنه زینل، دشت سجزی و منطقه ۷ اصفهان به‌عنوان نمونه‌های موردی برای بررسی انتخاب شدند (جدول ۷).

جدول ۷- بررسی نمونه های مورد مطالعه (نگارندگان)

عنوان	توضیحات	مصادیق
دشت سجزی	به گفته فعالان حوزه محیط‌زیست بیش از ده سال دشت سجزی به محلی برای انباشت زباله‌های عفونی و نخاله های ساختمانی تبدیل شده است (خبرگزاری انصاف ۱۴۰۳).	
گردنه زینل	ورودی پارک گردنه زینل (محل تخلیه زباله‌های شهری اصفهان) محلی شده است برای تخلیه نخاله‌های ساختمانی، نخاله‌هایی که در شهر بی‌ضابطه‌ای مانند اصفهان و بی ضابطه‌تر از آن بهارستان تمامی ندارد و مطمئنا به ورودی منطقه کفایت نمی‌کند. نخاله‌ها فقط ساختمانی نیست، نخاله‌های صنعتی و تکه‌های بزرگ آسفالت. که می‌گوید نهادهای رسمی نیز در این تخلف سهیم هستند. ارگان‌هایی که خودشان باید حافظ محیط‌زیست باشند (خبرگزاری ایسنا ۱۴۰۳).	
منطقه هفت اصفهان	منطقه ۷ شهرداری اصفهان محل انباشت پسماند و نخاله‌های ساختمانی (خبرگزاری شهر زندگی ۱۴۰۲).	

معضلات و مسائل روز پاسخ‌دهندگان بر اساس تکرار پاسخ‌ها با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور، در قالب نمودار ستونی مقایسه وضعیت پسماند ساختمانی در نمودار ۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدیریت پسماند ساختمانی از کیفیت نسبتاً پایینی برخوردار است و میزان رضایتمندی از آن نامناسب ارزیابی می‌شود.



نمودار ۱- نتایج حاصل از مصاحبه و میانگین مسائل تکراری (نگارندگان)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در یک سیستم مدیریت یکپارچه پسماند شهری، اگر جریان پسماندها از دفن مستقیم به سمت سایر فناوری‌های پردازش و دفع مانند جداسازی مواد بازیافتی، هضم هوازی، هضم بی‌هوازی و پسماندسوزی هدایت شود، میزان قابل توجهی از هزینه‌ها و انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از پسماند کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که در یک سیستم مدیریت پسماند نیازی به داشتن تمام فناوری‌های تصفیه و دفع نیست. برعکس، سیستمی که آلاینده‌های کمتری منتشر کرده و هزینه‌های کمتری داشته باشد، می‌تواند مفیدتر باشد. با این حال، به دلیل افزایش سهم پسماندهای ساختمانی خشک از کل زباله‌های تولیدی، بازیافت آن به یک ضرورت تبدیل شده است. در این راستا، جداسازی مواد قابل بازیافت در مرحله تولید و در مبدا، به دلیل سهولت، صرفه‌جویی در زمان و هزینه، و کاهش آلودگی و تخریب کمتر مواد قابل بازیافت، بسیار مطلوب، کارآمدتر و کاربردی‌تر است. مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در کاربرد هوش‌مصنوعی در سه بخش هوش‌مصنوعی، مدیریت پسماند ساختمانی و شهر اصفهان در جدول ۸ آورده شده است.

جدول۸ – مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در کاربرد هوش‌مصنوعی، مأخذ: نگارندگان

شاخص	کاربرد	ضریب تأثیر
در بخش هوش‌مصنوعی	کنترل هزینه‌ها با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۷۶
	تصمیم‌گیری با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۶۵
	تمایل با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۹
	مهارت با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۵
	مدیریت با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۲۹
در بخش مدیریت پسماند ساختمانی	نظارت با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۶
	جمع‌آوری با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۵
	دفع پسماند با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۵
	خطرات زیست‌محیطی با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۵
	بهینه نبودن روش‌های جمع‌آوری پسماند فعلی با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۴
	پیچیدگی و زمان‌بر بودن با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۳
	عدم استقبال افراد با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۳
	مقیاس پروژه با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۵۳
در بخش شهر اصفهان	اشرافیت ناظران با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۷۸
	چشمان ناظر بر محیط با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۶۸
	مراقبت طبیعی با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۴۸
	فعالیت در محیط طبیعی با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۴۵
	مکان انباشت در شهر با ضریب مستقیم و مثبت	۰/۴۲

در ادامه، برخی از راهکارهای کاربرد هوش‌مصنوعی در جهت بهبود مدیریت پسماند ساختمانی ارائه شده است:

• استفاده از سنسورها برای نظارت بر محل جمع‌آوری پسماندهای ساختمانی و پیش‌بینی زمان پر شدن هر سطح، با تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌منظور جلوگیری از سرریز پسماند در مناطق شهری شلوغ و کاهش هزینه‌ها با تنظیم دفعات جمع‌آوری پسماند در مناطق حاشیه‌ای و خلوت‌تر شهر.

• بهینه‌سازی مسیر جمع‌آوری پسماند برای کامیون‌ها با استفاده از جی‌پی‌اس و اطلاعات میزان پسماند در فضای مختص پسماند ساختمانی، به‌منظور تخصیص بهینه کامیون‌ها به مسیرها و استفاده بهینه از ظرفیت هر کامیون.

• استفاده از پلتفرم‌های آنلاین و نرم‌افزارهای تخصصی برای ثبت و برنامه‌ریزی آسان‌تر سفارش‌های جمع‌آوری انواع پسماند.

• ارائه پنل مدیریتی برای تجزیه و تحلیل بهتر داده‌ها و اطلاعات مربوط به پسماند در سطح فردی، صنعتی یا شهری.

• استفاده از سطل‌های زباله هوشمند برای پایش لحظه‌ای، فشرده‌سازی و تفکیک پسماند، پیش‌بینی و برنامه‌ریزی برای تکمیل ظرفیت و بهینه‌سازی زمان جمع‌آوری.

• ارائه تجزیه و تحلیل دقیق شامل مقدار، نوع و هزینه ضایعات تولید شده در طول فرآیند ساخت و ساز.

• ارائه تحلیل‌های کلان در سطح محله و شهری برای ارزیابی میزان و نوع پسماند تولیدی و الگوی رفتاری ناظران.

• استفاده از پلتفرم‌های نرم‌افزاری و آنلاین برای ثبت سفارش و پیگیری جمع‌آوری و دفع پسماندهای ویژه ساختمانی.

• ارائه پلتفرم نرم‌افزاری آنلاین برای ثبت سفارش و خرید پسماندهای قابل تجزیه به عناصر باارزش، مانند پسماندهای ساختمانی (مثلاً بتن).

References

1. Ashokkumar, V., & Varghese, S. BIM based 3D model for construction waste quantification. International Research Journal of Engineering and Technology, Volume: 05 Issue: 05 | May-2018, 5(5), 3069-3076.
2. Akinade, O. O., & Oyedele, L. O. Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS). Journal of Cleaner Production, 2019, 229, 863-873. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.232
3. Akanbi, L., Oyedele, L., Davila Delgado, J. M., Bilal, M., Akinade, O., Ajayi, A., & Mohammed-Yakub, N. Reusability analytics tool for end-of-life assessment of building materials in a circular economy. World Journal of Science, Technology and Sustainable Development, 2019, 16(1), 40-55. ISSN: 2042-5945
4. Buchanan, B. G.. A (very) brief history of artificial intelligence. AI Magazine, 2015, 26(4), 53-53. https://doi.org/10.1609/aimag.v26i4.1848
5. Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. Artificial intelligence and the modern productivity paradox. The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda, 2019. 23, 23-57. https://doi.org/10.7208/9780226613475-003
6. Baum, S. D., Barrett, A. M., & Yampolskiy, R. V. Modeling and interpreting expert disagreement about artificial superintelligence. Informatica, 2017, 41(4). Home > Vol 41, No 4 (2017) > Baum
7. Bilal, M., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, S. O., Alaka, H. A., Owolabi, H. A., & Bello, S. A. Big data architecture for construction waste analytics (CWA): A conceptual framework. Journal of Building Engineering, 2016.6, 144-156. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.03.002
8. Benachio, G. L. F., et al. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. Journal of Cleaner Production. 2020 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046
9. Dahlbo, H., Bachér, J., Lähtinen, K., Jouttijärvi, T., Suoheimo, P., Mattila, T., & Saramäki, K. Construction and demolition waste management – a holistic evaluation of environmental performance. Journal of Cleaner Production, 2015, 107, 333-341. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.073
10. Darko, A., et al. Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. Automation in Construction. 2020 https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081
11. Davis, P., et al. The classification of construction waste material using a deep convolutional neural network. Automation in Construction. 2021 https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103481
12. Ertel, W. Introduction to artificial intelligence. Springer Nature. 2024
13. Gundupalli, S. P., et al. A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. Waste Management. 2017 https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.015
14. Hossain R. Islam MT, Shanker R, Khan D, Locock K E S, Ghose A, Schandl H, Dhodapkar R, Sahajwalla V. Plastic Waste

Management in India: Challenges, Opportunities, and Roadmap for Circular Economy. Sustainability. 2022; 14: 4425. https://doi.org/10.3390/su14084425.

15. Joensuu, T., et al. Circular economy practices in the built environment. Journal of Cleaner Production. 2020 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124215
16. Lu, W., et al. Computer vision for solid waste sorting: A critical review of academic research. Waste Management. 2022 https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.02.009
17. Norouzi, M., et al. Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis. Journal of Building Engineering. 2021 https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102704
18. Nežerka, V., et al. Recycling of fines from waste concrete: Development of lightweight masonry blocks and assessment of their environmental benefits. Journal of Cleaner Production. 2023 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135711
19. Oluleye, B. I., et al. Circular economy research on building construction and demolition waste: A review of current trends and future research directions. Journal of Cleaner Production. 2022 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131927
20. Ojaghi A, Fataei E, Gharibi Asl S, Imani AA. Construction, Design and Testing of Infectious Waste Decontamination Device by Mechanical and Chemical Methods, Imam Khomeini Hospital, Sarab, Iran: A Case Study. J. of Health Sci. and Survei. Sys.2021; 9(3): 184-190. Doi: 10.30476/jhsss.2021.90162.1187.
21. Oliaei AS B. Fataei, E. Breakdown of Urban Waste Repository Location Using GIS (Case study District 3 Region 1 Tabriz), Iran. Eco., Env. and Conser. 2016; 22: 2115-2120.
22. Prošek, Z., et al. Recovery of residual anhydrous clinker in finely ground recycled concrete. Resources, Conservation and Recycling. 2020 https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104640
23. Rich, E., Knight, K., & Nair, S. B. Artificial Intelligence. 2020
24. Russell, S. J., & Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson. 2016
25. Shan, N. L., Wee, S. T., Wai, T. L., & Chen, G. K. Construction waste management of Malaysia: Case study in Penang. Advanced Science Letters, 2018, 24(6), 4698-4703. https://doi.org/10.1166/asl.2018.11684
26. Su, Y. Multi-agent evolutionary game in the recycling utilization of construction waste. Science of the Total Environment. 2020 https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139826
27. Sharifzadeh F. Analyzing Factors that Influence Productivity Management Improvement in Urban Solid Waste Material. Management Study. in Dev. and Evil. 2010; 20(60): 89-114. [In persian].
28. Turing, A. M. Computing machinery and intelligence (pp. 23-65). Springer Netherlands. 2019
29. Valentin, J., et al. Characterization of quarry dusts and industrial by-products as potential substitutes for traditional fillers and their impact on water susceptibility of asphalt concrete. Construction and Building Materials. 2021 https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124294
30. Zarrabi A, Mohammadi J, Ahangari S. An Analysis of Municipal Solid Waste Management Emphasizing on the Recovering of Waste (Case study: Boukan). Geography and Environmental Planning. 2013; 23(4): 91-108. [In Persian]. DOR: 20.1001.1.20085362.1391.23.4.6.0.
31. Zavodska A A. Study of Residential Solid Waste Composition and Management in a Selected Developing Country – Guyana. J. of Solid Was. Tech. and Management. 2000; 29 (1): 1-7.

Research Article

Journal of New Researches in Environmental Engineering

Volume 2, Issue 7, Autumn 2024, Pages 44-61

ISSN (Online): 2981-0930

Application of Artificial Intelligence in Improving Construction Waste Management: A Study on Integrated Systems in Isfahan City

Mohammad Reza Tabatabaei Master's student, Department of Civil Engineering, Sabzevar Branch, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Hadi Shakibazahed* Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sabzevar Branch, Hakim Sabzevari University, Yabzvar, Iran.

Received: 05 Nov 2024

Accepted: 16 Dec 2024

Keywords: Digitalization of the construction industry, artificial intelligence, advanced technologies in waste management

Extended Abstract

Introduction: Due to the increase in waste generation and concerns about the ecological damage caused by them, waste management policy has become of great importance. Waste is a by-product of human activities and includes various types of household, medical, agricultural, industrial, commercial, special and hazardous waste. Recycling construction waste can reduce the need for energy, natural resources, extraction resources and land required for sanitary and controlled landfill. Meanwhile, the construction industry faces numerous challenges such as high costs, long project duration, safety and health issues, and labor shortage. In addition, this industry is limitedly digitized compared to other industries, which has added to its complexities and problems. One of the new technologies that can help solve these problems is artificial intelligence. The purpose of the present study is to investigate the role and application of artificial intelligence in the construction waste management system in the city of Isfahan, and this goal is pursued by assuming that artificial intelligence-based decision-making plays a role in construction waste management in the city of Isfahan.

Materials and Methods: This study investigated the role of artificial intelligence in the construction waste management system in Isfahan. For this purpose, data were collected through documents and field studies in different areas of Isfahan and analyzed using statistical software such as SPSS and Smart PLS.

Results and Discussion: The results showed that the use of technologies such as artificial intelligence and sensors can help optimize the collection and processing processes of construction waste. In particular, the use of sensors to monitor the filling level of waste bins, optimizing the collection route using GPS, and utilizing smart bins to separate and compress waste are effective solutions. Also, directing the waste flow towards advanced technologies such as recycling and waste incineration can help reduce costs and pollutants. According to the results obtained, the highest correlation between the artificial intelligence application index and construction waste management is (0.82), followed by the artificial intelligence index and the city of Isfahan (0.79), and then the construction waste management index and the city of Isfahan index (0.67), which indicates the impact of artificial intelligence application indices on construction waste management in Isfahan.

Conclusion: These findings indicate that artificial intelligence can help improve the efficiency and reduce the environmental impacts of construction waste management systems in Isfahan. In this regard, separating recyclable materials at the production stage and at source is highly desirable, more efficient, and more practical due to its ease, time and cost savings, and reduced pollution and less destruction of recyclable materials.

Corresponding author: Hadi Shakibazahed

Address: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sabzevar Branch, Hakim Sabzevari University, Yabzvar, Iran.

Tel: +989122154338 **Email:** h.shakiba@hsu.ac.ir

Citation: Tabatabaei MR, Shakibazahed H. Application of Artificial Intelligence in Improving Construction Waste Management: A Study on Integrated Systems in Isfahan City. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(7): 44-61

© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.