

فناوری‌های نوظهور در کاهش پسماند مواد غذایی: مرور دامنه‌ای نظام‌مند و تحلیل راهبردی

SWOT برای اقتصاد چرخشی

رضا نعمتی^{۱*}، نیایش ضرغامی^۲، نرگس حکیمی^۳، فاطمه میرموسوی^۲، زهرا ایجادی^۲

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ساوه، ساوه، ایران.

۲. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ساوه، ساوه، ایران.

۳. اداره کل آموزش و پرورش استان تهران، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰

چکیده

مقدمه: پسماند مواد غذایی به یکی از چالش‌های اصلی پایداری در سطح جهانی تبدیل شده و پیامدهای شدید اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه دارد. تقریباً یک‌سوم کل مواد غذایی تولیدشده برای مصرف انسان، معادل ۱٫۳ میلیارد تن، سالانه هدر می‌رود. با وجود رشد فناوری‌های دیجیتال، شواهد تلفیقی درباره اثربخشی و چالش‌های کاربرد فناوری‌های نوظهور در مدیریت پسماند غذایی همچنان محدود است. این مطالعه با هدف بررسی نقش فناوری‌های نوظهور در کاهش پسماند مواد غذایی و تحلیل نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها (SWOT) در چارچوب اقتصاد چرخشی انجام شد.

روش: این مرور دامنه‌ای بر اساس راهنمای PRISMA-ScR انجام شد. جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های PubMed، Scopus، ScienceDirect و Google Scholar با استفاده از کلیدواژه‌هایی نظیر «فناوری‌های نوظهور»، «پسماند مواد غذایی»، «اینترنت اشیا»، «هوش مصنوعی» و «پلتفرم‌های دیجیتال» در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴ انجام گرفت. پس از غربالگری عناوین، چکیده‌ها و متن کامل، ۳۷ مطالعه واجد شرایط وارد تحلیل موضوعی شدند.

یافته‌ها: تحلیل ۳۷ مطالعه منتخب، چهار حوزه فناورانه اصلی را آشکار ساخت: اینترنت اشیا و حسگرهای هوشمند، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، بسته‌بندی هوشمند، و پلتفرم‌های اشتراک دیجیتال. بیشترین سهم مطالعات مربوط به پلتفرم‌های دیجیتال (۲۱/۶٪) بود، در حالی که کمترین سهم به هوش مصنوعی و یادگیری ماشین (۸/۱٪) اختصاص داشت. این فناوری‌ها تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را تسهیل کرده و گذار به اقتصاد چرخشی را پشتیبانی می‌کنند. تحلیل SWOT نشان داد که پایش هوشمند، بهینه‌سازی مصرف منابع و افزایش شفافیت زنجیره تأمین از مهم‌ترین نقاط قوت این فناوری‌ها هستند، در حالی که هزینه‌های بالای پیاده‌سازی، محدودیت‌های زیرساختی، نگرانی‌های حریم خصوصی و پذیرش محدود مصرف‌کنندگان از چالش‌های اصلی محسوب می‌شوند.

نتیجه‌گیری: فناوری‌های نوظهور به‌تنهایی راهگشای معضل پسماند مواد غذایی نیستند، اما در تلفیق با سیاست‌های حمایتی، آموزش عمومی هدفمند و مشارکت آگاهانه مصرف‌کنندگان می‌توانند نقش مؤثری در توسعه سیستم‌های غذایی پایدار، شفاف و چرخشی ایفا کنند. با این حال، ناهمگونی مطالعات و تفاوت شاخص‌های ارزیابی از محدودیت‌های اصلی این مرور بود.

کلید واژه: کاهش پسماند مواد غذایی؛ فناوری‌های نوظهور؛ اینترنت اشیا؛ هوش مصنوعی؛ اقتصاد چرخشی؛ تحلیل SWOT؛ مرور دامنه‌ای

*نویسنده مسئول: رضا نعمتی، ایمیل: reza.nemati84@gmail.com

ارجاع: نعمتی رضا، ضرغامی نیایش، حکیمی نرگس، میرموسوی فاطمه، ایجادی زهرا. فناوری‌های نوظهور در کاهش پسماند مواد غذایی: مرور دامنه‌ای نظام‌مند و تحلیل راهبردی SWOT برای اقتصاد چرخشی. مجله دانشکده علوم پزشکی ساوه ۱۴۰۵؛ ۲(۱): - . doi:10.22034/sumsj.2026.583243.1107

مقدمه

پسماندهای مواد غذایی امروزه به یکی از چالش‌های جدی جهانی تبدیل شده‌اند. این معضل تمام حلقه‌های زنجیره تأمین را تحت تأثیر قرار داده و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی قابل توجهی ایجاد کرده است (۱ و ۲).

برآوردها نشان می‌دهد که مواد غذایی هدر رفته سالانه حدود ۳/۳ گیگاتن دی‌اکسیدکربن منتشر می‌کند. برای درک بهتر این رقم، اگر ضایعات غذایی یک کشور بود، پس از ایالات متحده و چین در جایگاه سوم بزرگ‌ترین تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای جهان قرار می‌گرفت (۳). افزون بر این، نزدیک به یک‌سوم کل مواد غذایی تولیدشده برای مصرف انسان در جهان از بین می‌رود که معادل حدود ۱/۳ میلیارد تن ضایعات در سال است (۴). در اتحادیه اروپا سالانه بیش از ۵۸ میلیون تن ضایعات غذایی تولید می‌شود که ارزش اقتصادی آن حدود ۱۳۲ میلیارد یورو برآورد شده است (۵).

پسماندهای غذایی در تمام مراحل زنجیره تأمین، از تولید تا مصرف، ایجاد می‌شوند. در کشورهای پردرآمد، هر فرد به طور متوسط سالانه ۷۹ کیلوگرم مواد غذایی را به ضایعات تبدیل می‌کند (۶). وضعیت ایران نیز نگران‌کننده است. برآوردها حاکی از آن است که سالانه حدود ۲۵ میلیون تن مواد غذایی وارد چرخه پسماند می‌شود. در تهران با بیش از ۱۰ میلیون نفر جمعیت، روزانه ۷۰۰۰ تن زباله تولید می‌شود که ۶۰ درصد آن را پسماندهای تر و فسادپذیر تشکیل می‌دهد (۷).

الگوی ضایعات در کشورهای مختلف متفاوت است. در کشورهای توسعه‌یافته، پیشرفت فناوری و بهبود زیرساخت‌های زنجیره تأمین موجب کاهش ضایعات پس از برداشت شده است. در کشورهای در حال توسعه، ضایعات غذایی عمدتاً تحت تأثیر عوامل زیرساختی، اقتصادی، فرهنگی و رفتاری در سطح خانوار و زنجیره تأمین قرار دارد (۸، ۹). با توجه به افزایش فقر غذایی، رشد هزینه‌های مواد خوراکی و تهدید امنیت غذایی، مدیریت پسماندهای غذایی به یکی از اولویت‌های جهانی در سیاست‌گذاری‌های پایداری تبدیل شده

است (۴). بیشتر پژوهش‌های پیشین بر مدیریت پسماند در مراحل پس از تولید متمرکز بوده‌اند. رویکردهای پیشگیرانه برای کاهش ضایعات از مبدأ کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (۱۰ و ۱۱). در این میان، ظهور فناوری‌های نوین با قابلیت‌های هوشمند فرصت‌های تازه‌ای برای کاهش ضایعات از مبدأ ایجاد کرده است. این فناوری‌ها با به‌کارگیری ابزارها و پلتفرم‌های دیجیتال، مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان را در مسیر مدیریت بهینه مواد غذایی هدایت می‌کنند (۱۲). فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا، حسگرهای هوشمند، نرم‌افزارهای مدیریت پسماند و اپلیکیشن‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نقش مؤثری در بهبود کارایی زنجیره تأمین و کاهش ضایعات غذایی ایفا کرده‌اند (۱، ۱۳، ۱۴). این فناوری‌ها امکان پایش لحظه‌ای، پیش‌بینی دقیق و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را فراهم می‌آورند.

با توجه به محدودیت مطالعات انجام‌شده در ایران، پژوهش حاضر با هدف بررسی ظرفیت‌ها و چالش‌های فناوری‌های نوظهور در کاهش پسماند مواد غذایی طراحی شده است. جهت تحلیل کاربرد این فناوری‌ها، در پژوهش حاضر از ماتریس SWOT استفاده شده است. کنیک SWOT یکی از روش‌های متداول در تحلیل راهبردی است که بر چهار مؤلفه اصلی شامل نقاط قوت (Strengths)، نقاط ضعف (Weaknesses)، فرصت‌ها (Opportunities) و تهدیدها (Threats) استوار است. این چارچوب به‌طور گسترده برای تحلیل و ارزیابی سیاست‌ها، برنامه‌ها و عملکردهای مدیریتی، از جمله در حوزه مدیریت پسماند، به‌کار گرفته می‌شود و امکان شناسایی عوامل داخلی و خارجی مؤثر بر موفقیت یا ناکامی سیستم‌ها را فراهم می‌کند (۱۵). حوزه‌هایی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از: بسته‌بندی، نگهداری، ذخیره‌سازی، توزیع، بازیافت و چرخه مجدد مواد غذایی (۱۶، ۱۷). همچنین امکان‌سنجی استفاده از این فناوری‌ها در شرایط ملی همراه با تحلیل جامع نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها انجام گرفته است تا در نهایت، یک راهبرد علمی و اجرایی برای مدیریت بهینه ضایعات غذایی

ارائه گردد. پژوهش حاضر در پی پاسخ به این پرسش است که فناوری‌های نوظهور تا چه میزان می‌توانند در کاهش پسماند مواد غذایی مؤثر باشند و موانع اصلی پیاده‌سازی آن‌ها در شرایط ملی کدامند؟ بر این اساس، هدف اصلی این مطالعه مرور دامنه دامنه‌ای شواهد موجود در مورد کاربرد فناوری‌های اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، بسته‌بندی هوشمند و پلتفرم‌های دیجیتال در کاهش پسماند مواد غذایی و سپس تحلیل راهبردی نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای آن‌ها در چارچوب اقتصاد چرخشی است.

روش

پژوهش حاضر بر اساس چارچوب روش شناختی Arksey و O'Malley (2005) طراحی و گزارش‌دهی آن با اقتباس از راهنمای PRISMA (نسخه ۲۰۲۰) انجام پذیرفت (۱۸، ۱۹). این رویکرد امکان نقشه‌برداری جامع از شواهد موجود، شناسایی شکاف‌های دانشی، و دسته‌بندی حوزه‌های فناورانه مرتبط با مدیریت پسماند مواد غذایی را فراهم می‌آورد (۱۸). فرآیند انتخاب مطالعات در این پژوهش بر اساس چارچوب پنج مرحله‌ای مرور دامنه‌ای که توسط Arksey و O'Malley (۲۰۰۵) ارائه شده است، انجام گردید. این پنج مرحله عبارت بودند از: (۱) شناسایی مطالعات مرتبط از طریق جستجوی کلیدواژه‌ها، (۲) غربالگری اولیه و حذف مطالعات نامرتب بر اساس عنوان و چکیده، (۳) انتخاب مقالات واجد شرایط پس از مطالعه متن کامل، (۴) ترکیب و تحلیل داده‌های استخراج‌شده، و (۵) جمع‌آوری خلاصه‌سازی و گزارش نتایج. گزارش‌دهی مطالعه حاضر بر اساس راهنمای PRISMA-ScR^۱ انجام شد و مراحل شناسایی، غربالگری، انتخاب مطالعات و گزارش نتایج مطابق توصیه‌های این راهنما تشریح گردید (۱۹، ۲۰). بر این اساس جهت جمع‌آوری داده‌ها، راهبرد جستجو بر اساس چارچوب PRISMA-ScR طراحی و جستجو در پایگاه‌های PubMed، Scopus، ScienceDirect و Google

Scholar و در پاییز سال ۱۴۰۴ انجام گرفت. راهبرد جستجو بر اساس ترکیبی از کلیدواژه‌های مرتبط با پسماند مواد غذایی و فناوری‌های نوظهور طراحی گردید. کلیدواژه‌های اصلی شامل "Food Waste"، "Food Loss"، "Emerging Technologies"، "Internet of Things"، "Artificial Intelligence"، "Machine Learning"، "Smart Packaging"، "Digital Platforms" و "Circular Economy" بودند. در پایگاه PubMed علاوه بر کلیدواژه‌های آزاد، از اصطلاحات MeSH شامل "Food Loss and Waste"، "Artificial Intelligence" و "Internet of Things" نیز استفاده شد. نمونه راهبرد جستجو در PubMed به صورت زیر بود:

((("Food Waste" OR "Food Loss") AND ("Emerging Technologies" OR "Internet of Things" OR "Artificial Intelligence" OR "Machine Learning" OR "Smart Packaging" OR "Digital Platforms") AND ("Circular Economy")))

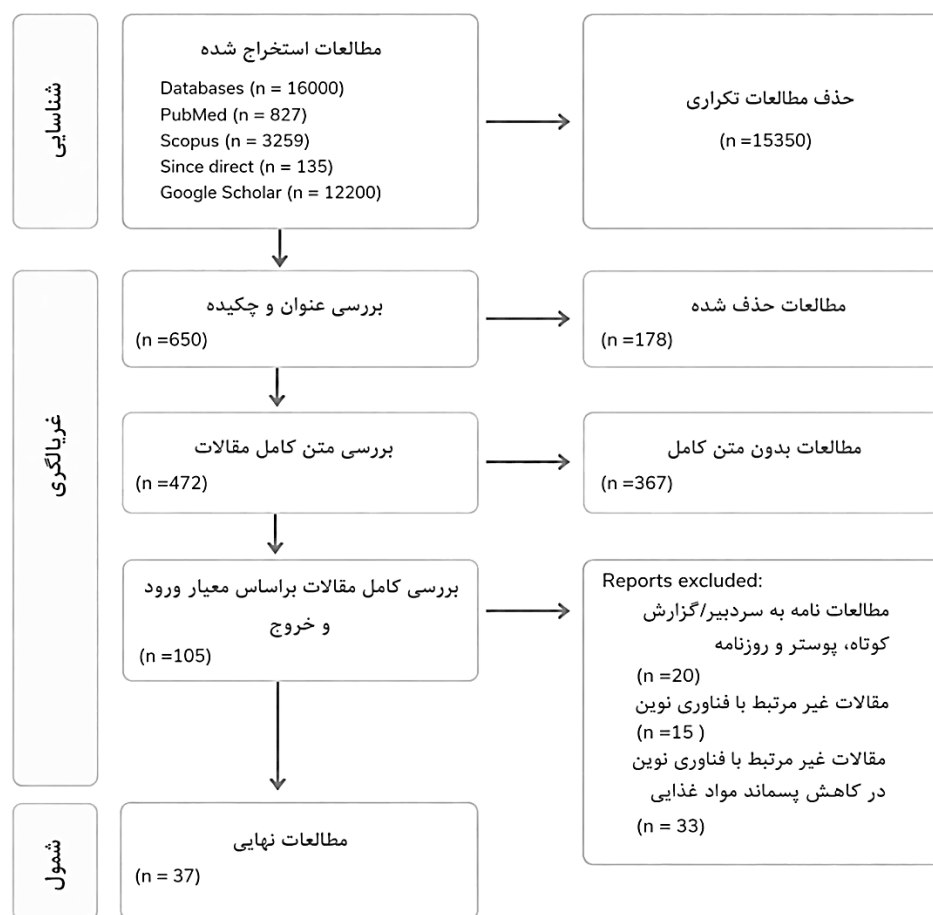
در تحقیق حاضر راهبرد جستجو متناسب با ساختار و قابلیت‌های هر پایگاه اطلاعاتی تطبیق داده شد؛ به گونه‌ای که در Scopus و ScienceDirect جستجو در عنوان، چکیده و کلیدواژه‌ها (TITLE-ABS-KEY) انجام گرفت و در Google Scholar از ترکیب‌های ساده‌تر کلیدواژه‌ای برای افزایش حساسیت جستجو استفاده شد. جستجو به مقالات منتشر شده به زبان فارسی و انگلیسی در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴ محدود گردید. پس از تطبیق راهبرد جستجو با ساختار هر پایگاه، مقالات بر اساس معیارهای ورود و خروج به صورت دو مرحله‌ای (غربالگری عنوان/چکیده و سپس متن کامل) توسط دو نویسنده مستقل بررسی شدند. در صورت اختلاف نظر، با بحث یا نظر سومین نویسنده تصمیم‌گیری شد. معیارهای ورود به مطالعه عبارت بودند از: اصالت پژوهشی مقاله (Original research)، همخوانی محتوایی با اهداف مطالعه، دسترسی به متن کامل،

^۱ Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews

مرحله غربالگری، تعداد مقالات به ۴۷۲ مقاله کاهش یافت. در گام بعدی، با حذف موارد تکراری و بررسی دقیق عنوان، چکیده و نوع مطالعه، ۱۰۵ مقاله با معیارهای پژوهش همخوانی داشتند. مقالات منتخب توسط دو پژوهشگر مستقل از نظر انطباق با معیارهای ورود و خروج مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند. در موارد اختلاف نظر، تصمیم‌گیری نهایی با مشارکت پژوهشگر سوم انجام شد (۱۹). در نهایت، ۳۷ مقاله برای تحلیل نهایی انتخاب شدند. جزئیات کامل این فرآیند در شکل ۱ ارائه شده است.

انتشار در بازه زمانی تعیین شده، نگارش به زبان انگلیسی یا فارسی، و تمرکز اصلی بر فناوری‌های نوظهور در کاهش پسماند غذایی. در مقابل، مقالاتی که به صورت نامه به سردبیر، گزارش کوتاه، پوستر یا یادداشت کنفرانسی بودند، همچنین مطالعات فاقد متن کامل و مقالاتی که ارتباط مستقیمی با فناوری‌های نوظهور در مدیریت پسماند غذایی نداشتند، از فرآیند تحلیل حذف شدند (۱۹، ۲۱).

در مرحله جستجوی اولیه بیش از ۱۶۰۰۰ مقاله شناسایی شد. پس از اعمال محدودیت‌های کلیدواژه و بازه زمانی در



شکل ۱. نمودار جریان PRISMA-ScR. مراحل شناسایی، غربالگری، ارزیابی و انتخاب نهایی ۳۷ مطالعه در مرور دامنه‌ای حاضر

کشور محل انجام مطالعه، هدف یا اهداف کلیدی مطالعه، نوع فناوری مورد بررسی، یافته‌ها و نتایج اصلی، پیشنهادات

استخراج داده‌ها با استفاده از یک فرم استاندارد انجام گرفت که شامل اطلاعات زیر بود: نام نویسنده اول، سال انتشار،

تحلیل، ارائه یک چارچوب راهبردی برای تبیین ظرفیت‌ها و چالش‌های به‌کارگیری فناوری‌های نوظهور در مدیریت پسماند مواد غذایی بود.

یافته‌ها

همانطور که ذکر شد، در این مرور دامنه‌ای با بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴، پس از غربالگری بر اساس معیارهای ورود و خروج مطالعه، نهایتاً ۳۷ مطالعه واجد شرایط وارد تحلیل شدند. این مطالعات تنوع قابل توجهی از نظر کشورهای محل انجام، اهداف مورد بررسی، فناوری‌های به کار گرفته شده، و رویکردهای روش‌شناختی را شامل می‌شوند. به منظور ارائه یک نمای کلی و ساختارمند از این مطالعات، مشخصات آن‌ها در جدول ۱ گردآوری شده است. از نظر توزیع جغرافیایی،

بیشتر مطالعات مقالات منتخب در کشورهای ایتالیا، بریتانیا، استرالیا، دانمارک، هند و ایران انجام شده است. دسته‌بندی مطالعات در این جدول، زمینه تحلیل‌های بعدی و شناسایی الگوهای حاکم بر پژوهش‌های این حوزه را فراهم کرده است.

ارائه‌شده توسط نویسندگان و چالش‌ها و محدودیت‌های ذکرشده در هر مقاله. مقالات منتخب در قالب یک جدول خلاصه سازماندهی و طبقه‌بندی شدند. سپس یافته‌های مطالعات مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت تا روندهای اصلی، حوزه‌های فناورانه غالب و چالش‌های مطرح‌شده در زمینه کاهش پسماند مواد غذایی شناسایی شود. پس از تکمیل مرحله جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل یافته‌ها با بهره‌گیری از چارچوب SWOT به‌منظور شناسایی عوامل داخلی و خارجی مؤثر بر موضوع پژوهش انجام شد. عوامل SWOT بر اساس مرور و جمع‌بندی نتایج مطالعات منتخب استخراج شدند (۱۵). بدین ترتیب، مزایا و قابلیت‌های گزارش‌شده برای فناوری‌های نوظهور به عنوان نقاط قوت، محدودیت‌ها و چالش‌های درونی فناوری‌ها به عنوان نقاط ضعف، ظرفیت‌های توسعه و فرصت‌های محیطی به عنوان فرصت‌ها، و موانع اجرایی، اقتصادی، فنی و اجتماعی به عنوان تهدیدها طبقه‌بندی شدند. در مواردی که درباره جایگاه یک عامل اختلاف نظر وجود داشت، تصمیم نهایی از طریق بحث میان پژوهشگران و دستیابی به اجماع اتخاذ شد. هدف از این

جدول ۱. مشخصات توصیفی مطالعات واردشده به مرور دامنه‌ای (۳۷ مطالعه)

ردیف	نویسنده و سال	کشور مطالعه	یافته‌ها و نتایج کلیدی	چالش‌ها و محدودیت‌ها	رفرنس
۱	Ranjbari ۲۰۲۴	Italy	اجرای سیاست برنده برای کاهش حدود ۳٪ از کل زباله غذایی کشور تا سال ۲۰۶۰ و تسهیل گذار به اقتصاد چرخشی.	ارزیابی سهم محدود پلتفرم‌های اشتراک‌گذاری غذا در تحقق اقتصاد چرخشی از طریق جلوگیری از تولید زباله غذایی.	(۱۷)
۲	Liechti ۲۰۲۴	Switzerland	استراتژی‌های چندجزئی اثربخشی بیشتری داشته است.	استفاده از استراتژی‌های ساده‌تر معمولاً در تلاش‌های کاهش ضایعات مواد غذایی	(۲۲)
۳	Jafarzadeh ۲۰۲۴	Australia	چندین فناوری با پتانسیل خوب نظارت بر بسته بندی به ویژه زمان ترکیب با تشخیص تلفن هوشمند	عدم در دسترس بودن تکنولوژی‌های پیشرفته	(۱۳)
۴	Trevisan ۲۰۲۴	Italy	آگاه‌سازی مدیران صنعت کشاورزی و غذایی درباره پتانسیل فناوری‌های دیجیتال در پیشگیری و کاهش ضایعات غذایی در زنجیره تأمین.	جزئی بودن بهینه‌سازی عملیات زنجیره تأمین کشاورزی و غذایی با فناوری‌های دیجیتال	(۲۳)

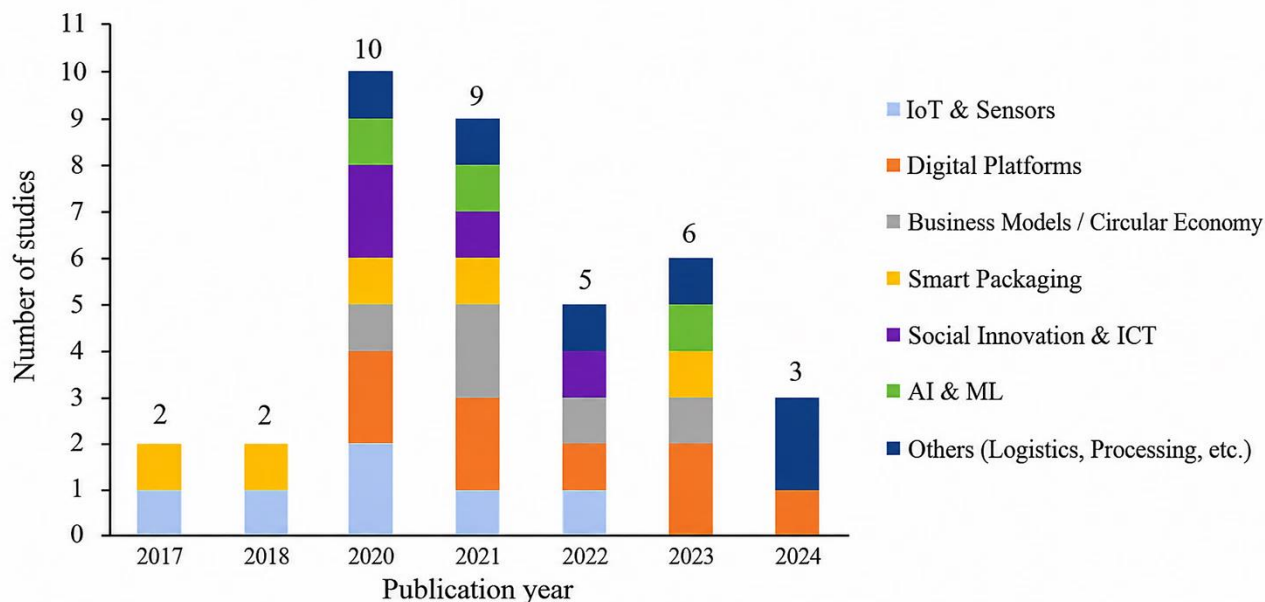
ردیف	نویسنده و سال	کشور مطالعه	یافته‌ها و نتایج کلیدی	چالش‌ها و محدودیت‌ها	رفرنس
۵	Ramanathan ۲۰۲۳	UK	توسعه مدل‌های کسب‌وکار فناورانه برای شناسایی زود هنگام مشکلات کیفی، کاهش ضایعات و ارتقای بهره‌وری و پایداری در صنایع غذایی.	مسائل امنیت داده و اعتماد چالش‌هایی را در استفاده از این فناوری‌ها ایجاد کرده اند.	(۲۴)
۶	Said ۲۰۲۳	India	هوشمندسازی جامع با حمایت دولت برای کاهش هدررفت غذا و تقویت اقتصاد چرخشی جهت دستیابی به پایداری.	ذکر نشده است.	(۲۵)
۷	Principato ۲۰۲۳	Italy	تأکید بر نقش رهبر پلتفرم در هدایت فرایند تکاملی و تضمین منافع ذی‌نفعان از طریق پایداری و دیجیتالی‌سازی.	تکمیل مدل‌های کسب‌وکار با توجه کردن به اهمیت پایداری اجتماعی و محیطی برای موفقیت آن‌ها.	(۲۶)
۸	Adebisi ۲۰۲۳	Nigeria	استفاده از ابزارهای ICT برای تأثیر مثبت بر مصرف‌کنندگان و کاهش هدررفت غذا.	تنوع عوامل اجتماعی و اقتصادی در زنجیره تأمین غذا به‌عنوان معیار قابل‌اندازه‌گیری پذیرفته نیست.	(۱۲)
۹	Zhao ۲۰۲۳	United Kingdom	فعالیت‌های نوآوری اجتماعی شامل پلتفرم‌های اشتراک‌گذاری غذا، سوپرمارکت‌های اجتماعی و مراکز نجات غذا به طور گسترده در کاهش ضایعات غذایی به کار گرفته شده‌اند.	ارزیابی عملکرد پلتفرم‌های اشتراک غذا، انجام پژوهش‌های تجربی محور و تحلیل شبکه روابط میان مشارکت‌کنندگان در فعالیت‌های نجات غذا.	(۲۷)
۱۰	Oroski ۲۰۲۲	Brazil	سهم واقعی پلتفرم‌های کاهش ضایعات غذایی محدود است؛ فناوری نقش‌های متعددی دارد؛ اما به‌تنهایی کافی نیست، باین‌حال پلتفرم‌های دیجیتال با ترویج پیشگیری و کاهش ضایعات در منبع مؤثرند.	موانع پیاده‌سازی پلتفرم‌های دیجیتال، از جمله ایجاد اعتماد و تغییر رفتار غذایی، درک توانایی واقعی آن‌ها در کاهش ضایعات غذایی در مقیاس بزرگ را محدود کرده است.	(۲۸)
۱۱	Ramanathan ۲۰۲۲	UK	رکیب حسگرهای IoT و تحلیل داده‌های بزرگ با سیستم‌های نظارت و هشدار، چالش‌های زنجیره غذایی را کاهش داده و با بهبود کارایی، کاهش کاردستی و انطباق با مقررات، ارزش به ذی‌نفعان می‌آفریند.	مانع کلیدی پذیرش فناوری دیجیتال در صنایع غذایی، عدم اطمینان سهام‌داران درباره ارزش واقعی آن از منظر هزینه/منفعت است.	(۲۹)
۱۲	Barone ۲۰۲۲	Denmark	وابستگی مصرف‌کنندگان به تاریخ انقضا و اعتماد به برچسب، عامل کلیدی در استفاده از برچسب‌های هوشمند در نگهداری روزمره غذا است.	تا کنون تحقیقات کمی به بررسی عملکردها و درک مصرف‌کنندگان از چنین برچسب‌هایی در زمینه استفاده پرداخته‌اند	(۳۰)
۱۳	Aramyan ۲۰۲۰	Europe	نوآوری‌های فناوری (TI) و نوآوری‌های بازاریابی (Mi) اغلب با یکدیگر مرتبط هستند و می‌توانند یکدیگر را تحریک کنند.	انواع مختلفی از نوآوری‌ها پتانسیل بالایی برای کاهش و جلوگیری از پسماند غذایی در طول زنجیره تأمین دارند.	(۱)
۱۴	Pal ۲۰۲۲	USA	تحولات لجستیک می‌توانند زنجیره مواد غذایی تازه را به یک سیستم سایبر - فیزیکی هوشمند با نظارت آنلاین و کنترل عملیاتی تبدیل کنند تا تازگی و ایمنی غذا افزایش یافته، هدررفت کاهش و کارایی حمل‌ونقل و توزیع بهبود یابد.	فرآیندهای افت کیفیت مواد غذایی تازه شامل فناوری‌های حسگری کیفیت و آلودگی، انتقال داده از طریق رسانه‌های چالش‌برانگیز، مدیریت حمل‌ونقل و توزیع، و مسائل عملیاتی مرتبط است.	(۱۴)
۱۵	Shinde ۲۰۲۲	India	توزیع مجدد غذا به‌عنوان ابتکار اجتماعی مؤثر، با کاهش هدررفت غذا و مبارزه با فقر، ضمن حفظ حساب و اطلاعات خصوصی هر کاربر عمل می‌کند.	ذکر نشده است.	(۳۱)

ردیف	نویسنده و سال	کشور مطالعه	یافته‌ها و نتایج کلیدی	چالش‌ها و محدودیت‌ها	رفرنس
۱۶	Bolwig ۲۰۲۱	Denmark	وجود شکاف‌های قابل‌توجه در داده‌ها و ارزیابی ضایعات غذایی مصرف‌کننده از لحاظ کمیت، کیفیت، منابع، هزینه‌ها، تأثیرات اجتماعی و زیست‌محیطی و پیش‌بینی‌های آتی.	بیشتر داده‌های مربوط به ضایعات مواد غذایی مصرفی بر اساس تخمین‌های تقریبی بود که دقیق نبودند.	(۱۶)
۱۷	Gull ۲۰۲۱	Pakistan	پیداکردن دقت ۹۲٫۶۵٪ در سیستم که به کاهش مقدار هدررفت غذا در خانه‌ها و رستوران‌ها کمک می‌کند و گزارشی روزانه از هدررفت غذا در سیستم کامپیوتری آنها ارائه می‌دهد.	بسیاری از پژوهشگران در این دوره با معرفی پروژه‌های مفید و کارآمد به کمک آمده‌اند.	(۳۲)
۱۸	Kumar ۲۰۲۱	India	یخچال‌های هوشمند و سیستم‌های زباله هوشمند به کاهش ضایعات غذایی در خانه‌ها و رستوران‌ها و بهبود جمع‌آوری و پردازش ضایعات کمک می‌کنند.	دسترسی به حسگرها و فناوری‌های ارتباطی IoT امکان تمرکز بر شکاف‌ها را فراهم می‌کند تا در دسترس بودن غذا افزایش و هدررفت کاهش یابد.	(۳۳)
۱۹	Annosi ۲۰۲۱	Italy & Netherlands	ترکیب دیدگاه‌ها، بینش‌های نوینی درباره همکاری در جلوگیری از ضایعات زنجیره تأمین و طراحی عملیات شرکت‌ها با بهره‌گیری از فناوری دیجیتال فراهم می‌کند.	مطالعات مربوط به ائتلاف غذا به تحلیل‌های کمی تکیه دارند که نمی‌توانند جزئیات مربوط به تنش‌ها و دینامیک‌های همکاری را افشا کنند.	(۳۴)
۲۰	Moltene ۲۰۲۰	Brazil	عوامل مؤثر بر پذیرش و استفاده از پلتفرم‌ها شناسایی شده و تئوری UTAUT2 به‌عنوان مبنای مطالعه موردی پلتفرم Ecofood به کار گرفته شد.	نیاز پلتفرم‌ها برای پذیرفته شدن توسط بازار، اطلاعات کم درباره عوامل پذیرش و استفاده از این پلتفرم‌ها	(۳۵)
۲۱	Mazzucchelli ۲۰۲۱	Italy	آشنایی با جامعه، درک مسئولیت اجتماعی و زیست‌محیطی و حمایت اجتماعی مصرف‌کنندگان، عوامل کلیدی شکل‌دهنده واکنش‌های رفتاری مصرف‌کننده هستند.	اطلاعات کمی درباره عوامل کلیدی موفقیت آن‌ها، به ویژه مدل "اشتراک برای جامعه" وجود دارد.	(۳۶)
۲۲	Pramana ۲۰۲۱	Indonesia	ارائه نوآوری مدل کسب‌وکار اجتماعی معتبر که برنامه‌ای را ارائه می‌دهد که می‌تواند در استفاده از غذای اضافی کمک کند و به مشکلات اجتماعی گرسنگی و فقر کمک کند.	ذکر نشده است.	(۳۷)
۲۳	Martin-Rios ۲۰۲۱	Switzerland	اتخاذ فناوری‌های نوآورانه همراه با همکاری شرکت‌های شخص ثالث، راهی استراتژیک و مقرون‌به‌صرفه برای کاهش ضایعات غذایی و تقویت نوآوری شرکت‌ها است.	ذکر نشده است.	(۳۸)
۲۴	Li ۲۰۲۰	New Zealand	از منظر اقتصادی، کمیسیون‌های بالا و شرایط کاری نامطمئن تحویل‌دهندگان؛ از منظر اجتماعی، تأثیر بر رابطه مصرف‌کننده با غذا و بهداشت عمومی؛ و از منظر زیست‌محیطی، تولید زباله و ردپای کربن بالا.	ذکر نشده است.	(۳۹)
۲۵	Manzocco ۲۰۲۰		پس از تعریف، طبقه‌بندی و کمی‌سازی ضایعات غذایی، مورد تجزیه و تحلیل دلایل و مسئولیت‌های تولید ضایعات در پرتو تلاش‌های قانونی کنونی	ارائه نمای کلی مداخلات ممکن تأثیرات هم‌افزای آنها بر کاهش، پیشگیری از هدررفت در سطوح صنعتی و خانگی را زیر دره‌بین قرار می‌دهد.	(۴۰)

ردیف	نویسنده و سال	کشور مطالعه	یافته‌ها و نتایج کلیدی	چالش‌ها و محدودیت‌ها	رفرنس
۲۶	Guimaraes ۲۰۲۰	Brazil	رایج‌ترین مکانیسم‌های حکمرانی پایدار در پلتفرم های تحلیل‌شده، اشتراک اطلاعات و سیستم کنترل و نظارت بودند.	ذکر نشده است.	(۴۱)
۲۷	Chen ۲۰۲۰	USA & Australia	ارائه مدیریت یکپارچه زنجیره تأمین با تمرکز بر اجزای تاکتیکی و عملیاتی، بهینه‌سازی ردیابی محصولات و ارزیابی اثرات بسته‌بندی غیرهوشمند بر کاهش هدررفت و ضایعات غذایی.	بحث درباره چالش‌های بالقوه در تولید و استقرار سیستم‌های بسته‌بندی هوشمند، همچنین معایب و مراحل بعدی در زنجیره تأمین غذا.	(۴۲)
۲۸	Żmieńk ۲۰۲۰	Poland	اکثریت نوآوری‌ها بر مراحل نهایی زنجیره تأمین غذا تمرکز دارند و بیشتر برای کشورهای توسعه‌یافته که هدررفت در این مرحله بالاست، مناسب‌اند.	بیشترین وجود شکاف تحقیقاتی در فناوری‌های کاهش هدررفت در مراحل اولیه تولید می‌باشد.	(۱۱)
۲۹	Mattila ۲۰۲۰	Finland	شناسایی یافته‌های شبکه و ارائه ارزش پایدار اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی، عناصر کلیدی برای پایداری کسب‌وکارهای مبتنی بر پلتفرم هستند.	ذکر نشده است.	(۴۳)
۳۰	Mullick ۲۰۲۰	New Zealand	تأثیر فعالیت مصرف‌کنندگان بر فعالیت فروشگاه های خرده‌فروشی قوی‌تر و پایدارتر از تأثیر فعالیت فروشگاه‌های خرده‌فروشی بر فعالیت مصرف‌کنندگان است.	ذکر نشده است.	(۴۴)
۳۱	Cane ۲۰۲۰	Italy	پلتفرم‌های دیجیتال ابزاری ضروری برای مبارزه با ضایعات مواد غذایی هستند.	ذکر نشده است.	(۴۵)
۳۲	Liegeard ۲۰۲۰	UK	استفاده از رویکردهای هوشمند برای پاسخ به انتظارات مصرف‌کنندگان، بهبود ذخیره‌سازی، کاهش ضایعات غذایی و مدیریت مؤثر موجودی خانگی.	ذکر نشده است.	(۴۶)
۳۳	Ciulli ۲۰۲۰	Germany	ادغام مطالعات شبکه و زنجیره تأمین چرخشی با رویکرد ساختاری تفسیرپذیر به منظور بررسی نقش سازمان‌های پلتفرم در پر کردن خلأهای بازیابی ضایعات غذایی.	توجه‌نکردن به استفاده از فناوری دیجیتال برای انتقال و بازیابی منابع و نتیجتاً دور ریخته شده مواد غذایی در زنجیره تأمین	(۴۷)
۳۴	Abdul Minaam ۲۰۱۸	Egypt	این دستگاه تا حدود زیادی ضایعات غذایی تولید شده در رستوران‌ها را کم کرد.	ذکر نشده است.	(۴۸)
۳۵	Martin-Rios ۲۰۱۸	Switzerland	اجرای ابتکارات کاهش هدررفت در بخش خدمات غذایی به باورها، دانش و اهداف مدیریتی بستگی دارد و عوامل پذیرش نوآوری را روشن می‌کند.	ذکر نشده است.	(۴۹)
۳۶	Poyatos-Racionero ۲۰۱۸	Spain	در میان استراتژی‌های مناسب برای مقابله با این چالش، بسته‌بندی هوشمند ابزاری برای کاهش هدررفت ناشی از خانوارها و خرده‌فروشان است.	چالش‌ها و فرصت‌های اصلی تحقیقاتی که بسته‌بندی هوشمند در سال‌های آینده با آن‌ها روبرو خواهد شد.	(۵۰)
۳۷	Gao ۲۰۱۷	China	به‌طور کلی، فناوری‌های مدیریت پسماند به ترتیب مناسب از هضم بی‌هوازی، واکنش حرارتی - رطوبتی کمپوست‌سازی و سوزاندن تا دفن زباله توصیه می‌شود.	ذکر نشده است.	(۵۱)

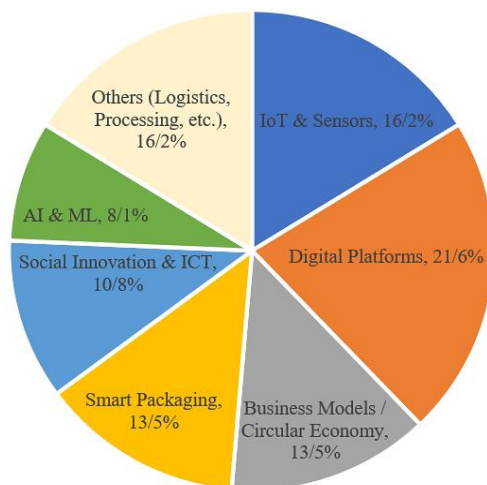
توجه را به خود اختصاص داده‌اند. مدل‌های کسب و کار و اقتصاد دایره‌ای و اینترنت اشیا و حسگرها هر کدام با ۱۶,۲٪ سهم، دومین گروه‌های پرکاربرد هستند. بسته‌بندی هوشمند و مدیریت و بازیافت پسماند و فناوری‌های دیگر به ترتیب با ۱۳,۵٪ سهم در رتبه‌های بعدی قرار دارند. نوآوری‌های اجتماعی و فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) با ۱۰,۸٪ و هوش مصنوعی و یادگیری ماشین با ۸,۱٪ سهم، کمترین میزان بررسی را داشته‌اند. این یافته‌ها نشان‌دهنده تمرکز علمی بیشتر بر پلتفرم‌های دیجیتال، بهینه‌سازی مدل‌های کسب و کار و اینترنت اشیا در سال‌های اخیر است.

روند زمانی انتشار مقالات منتخب این مرور دامنه‌ای در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴ در شکل ۳ ترسیم شده است. روند انتشار مقالات در این شکل نشان می‌دهد که از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴، تعداد مطالعات با موضوع مورد بحث روندی صعودی داشته و اوج آن در سال‌های ۲۰۲۰ (۹ مقاله) و ۲۰۲۱ (۸ مقاله) بوده است. پس از آن، کاهش نسبی در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۳. روند انتشار مطالعات مرتبط با فناوری‌های نوین در مدیریت و کاهش پسماند مواد غذایی طی سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴

مطالعات منتخب نشان دادند که فناوری‌های نوظهور در هفت دسته کلی قرار می‌گیرند. مهم‌ترین آن‌ها شامل پلتفرم‌های اشتراک دیجیتال، اینترنت اشیا و حسگرهای هوشمند، بسته‌بندی هوشمند و هوش مصنوعی بودند. توزیع درصدی این هفت دسته در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. توزیع انواع فناوری‌ها در مطالعات مرور شده ۲۰۱۷-۲۰۲۴

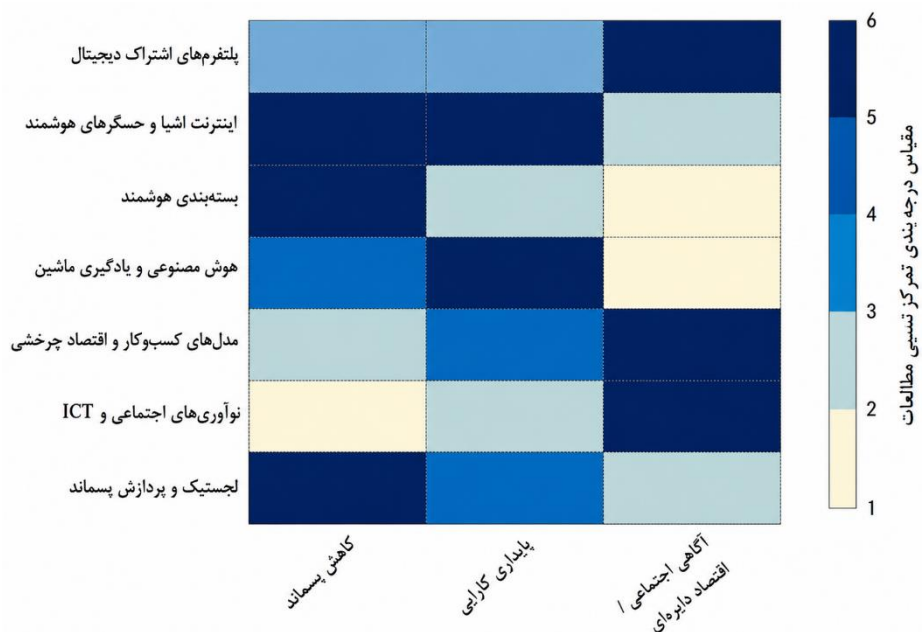
مطابق شکل ۲، پلتفرم‌های دیجیتال با سهم ۲۱,۶٪ بیشترین

بسته‌بندی‌های هوشمند و حسگرهای پایش تازگی، در کاهش فساد زودرس مواد غذایی مؤثر هستند. با این حال، شواهد کمی مربوط به فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی هنوز محدود و عمدتاً در مقیاس آزمایشگاهی یا پایلوت است.

شکل ۴ نقشه حرارتی تمرکز نسبی هر دسته فناوری را بر سه هدف کاهش پسماند، بهینه‌سازی کارایی، و ارتقای آگاهی اجتماعی/اقتصاد چرخشی نشان می‌دهد (مقیاس ۱ تا ۶). بر اساس این یافته‌ها، اینترنت اشیا و حسگرها در کاهش پسماند (امتیاز ۶) و بهینه‌سازی کارایی (امتیاز ۵) بیشترین تمرکز را دارند. پلتفرم‌های اشتراک دیجیتال عمدتاً بر آگاهی اجتماعی (امتیاز ۶) متمرکزند. بسته‌بندی هوشمند نیز در کاهش پسماند امتیاز ۶ دارد، در حالی که هوش مصنوعی در بهینه‌سازی کارایی امتیاز ۶ کسب کرده است. نوآوری‌های اجتماعی و ICT عمدتاً در حوزه آگاهی اجتماعی نقش داشته‌اند (امتیاز ۵). این تحلیل نشان می‌دهد پژوهش‌های اخیر عمدتاً بر فناوری‌های دیجیتال و کاربردهای عملی آن‌ها تمرکز دارند و حوزه‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی و فناوری‌های اجتماعی ظرفیت بالایی برای مطالعات آینده دارند.

بررسی مقالات نشان داد که فناوری‌های اینترنت اشیا و حسگرها بیشترین تمرکز را بر کاهش پسماند و بهینه‌سازی کارایی داشته‌اند، در حالی که بسته‌بندی هوشمند عمدتاً بر کاهش ضایعات متمرکز بوده است. مدل‌های کسب و کار و اقتصاد دایره ای در بهینه‌سازی کارایی و ارتقای آگاهی اجتماعی-اقتصادی برجسته هستند و پلتفرم‌های دیجیتال و نوآوری‌های اجتماعی بیشتر بر افزایش آگاهی و بهبود فرآیندها متمرکز شده‌اند.

برخی مطالعات مرور شده، شواهد کمی قابل‌توجهی از اثربخشی فناوری‌های نوظهور در کاهش پسماند غذایی گزارش کرده‌اند. برای مثال، Gull و همکاران (۲۰۲۱) (۳۲) دقت ۹۲٫۶۵ درصدی را برای سامانه هوشمند مدیریت هدررفت غذایی گزارش کردند که موجب کاهش ضایعات در محیط‌های خانگی و رستورانی شد. همچنین Ranjbari و همکاران (۲۰۲۴) (۱۷) نشان دادند که پلتفرم‌های دیجیتال و مدل‌های اقتصاد چرخشی می‌توانند حدود ۳ درصد از کل زباله غذایی را در مقیاس ملی کاهش دهند. مطالعه Jafarzadeh و همکاران (۲۰۲۴) (۱۳) و Poyatos-Racionero و همکاران (۲۰۱۸) (۵۰) نیز نشان داد که



شکل ۴. نقشه حرارتی تمرکز فناوری‌های نوظهور بر اهداف مدیریت پسماند غذایی (مقیاس ۱ تا ۶)

چارچوبی مفهومی برای تفسیر روندهای غالب در مطالعات مرور شده فراهم می‌کنند.

در ادامه، تحلیل SWOT نشان می‌دهد که مهم‌ترین نقاط قوت فناوری‌های نوظهور شامل پایش هوشمند و بهینه‌سازی مصرف منابع است. در مقابل، موانع اصلی پیاده‌سازی آن‌ها عبارت بود از هزینه‌های بالای زیرساختی، کمبودهای فنی و ساختاری در برخی کشورها، و پذیرش محدود از سوی مصرف‌کنندگان نهایی. جزئیات کامل این تحلیل در جدول ۲ ارائه شده است.

امتیازدهی نقشه حرارتی (۱ تا ۶) بر پایه تحلیل نیمه‌کمی مطالعات منتخب انجام شد. در این تحلیل، فراوانی تکرار فناوری‌ها، شدت تمرکز مفهومی و میزان تأکید مطالعات بر اهداف اصلی به صورت تطبیقی ارزیابی شد. سپس بر اساس اجماع نسبی میان یافته‌های مطالعات، امتیازهای بالاتر به فناوری‌هایی اختصاص یافت که شواهد بیشتری از تمرکز و کاربرد در هر محور داشتند. مقادیر ارائه‌شده بیانگر یک مقیاس تفسیری-مقایسه‌ای برای نمایش الگوهای غالب پژوهشی هستند و بنابراین، امتیازهای ارائه‌شده با هدف مقایسه نسبی میزان تمرکز پژوهش‌ها بر هر فناوری طراحی شده‌اند و

جدول ۲. تحلیل SWOT

نقاط قوت (Strengths)	نقاط ضعف (Weaknesses)
پایش لحظه‌ای و هوشمند وضعیت مواد غذایی در طول زنجیره تأمین	هزینه‌های بالای پیاده‌سازی و نگهداری زیرساخت‌های دیجیتال
کاهش ضایعات غذایی از مبدأ از طریق پیش‌بینی و هشدارهای به موقع	کمبود زیرساخت‌های فنی و ارتباطی در کشورهای در حال توسعه
شفافیت و ردیابی‌پذیری در تمام حلقه‌های زنجیره تأمین	پذیرش محدود و مقاومت رفتاری از سوی مصرف‌کنندگان سنتی
بهینه‌سازی مصرف منابع و کاهش هزینه‌های عملیاتی در بلندمدت	عدم استانداردسازی یکسان در پلتفرم‌ها و حسگرهای مختلف
تسهیل تصمیم‌گیری مبتنی بر داده برای تولیدکنندگان و سیاست‌گذاران	وابستگی به اینترنت پرسرعت و دانش فنی تخصصی
امکان توزیع مجدد مازاد مواد غذایی از طریق پلتفرم‌های اشتراک دیجیتال	نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده‌های مصرف‌کنندگان

فرصت‌ها (Opportunities)	تهدیدها (Threats)
حمایت رو به رشد سیاست‌های بین‌المللی	شکاف دیجیتال میان کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه
افزایش آگاهی عمومی نسبت به پیامدهای زیست‌محیطی هدررفت مواد غذایی	مقاومت صنایع سنتی و کسب‌وکارهای قدیمی در برابر تحول دیجیتال
رشد استارت‌آپ‌ها و کسب‌وکارهای نوپای حوزه فناوری‌های سبز و اقتصاد چرخشی	نوسانات اقتصادی و کاهش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های نوآورانه
توسعه فناوری‌های ارزان‌قیمت مانند حسگرهای زیستی و برچسب‌های هوشمند	نگرانی‌های اخلاقی و قانونی درباره مالکیت و اشتراک داده‌ها
پتانسیل بالای بومی‌سازی فناوری‌ها در کشورهای در حال توسعه با رویکرد مشارکتی	خطر حذف افشار کم‌درآمد و آسیب‌پذیر از دسترسی به فناوری‌های نوین
همکاری‌های میان‌رشته‌ای میان مهندسان، سیاست‌گذاران و متخصصان علوم رفتاری	احتمال افزایش ضایعات الکترونیک ناشی از سخت‌افزارهای هوشمند

بحث

ترکیبی از عوامل بلوغ فناوری، هزینه‌های پیاده‌سازی، و میزان پذیرش توسط کاربران نهایی نهفته است. پلتفرم‌های اشتراک غذا معمولاً به زیرساخت ساده‌تری نیاز دارند و مصرف‌کنندگان می‌توانند بدون دانش تخصصی از آن‌ها استفاده کنند (۲۸، ۳۵). در مقابل، پیاده‌سازی سیستم‌های هوش مصنوعی نیازمند داده‌های حجیم، الگوریتم‌های پیچیده و دانش فنی بالاست که ممکن است برای بسیاری از پژوهشگران و سازمان‌ها دست‌نیافتنی باشد. این یافته با نقاط ضعف شناسایی‌شده در تحلیل SWOT (هزینه‌های بالای پیاده‌سازی، وابستگی به دانش فنی تخصصی، و پذیرش محدود از سوی مصرف‌کنندگان) همسو است. بدین ترتیب، این هم‌راستایی شکاف تحقیقاتی مهمی را آشکار می‌سازد که ضرورت پرداختن به راهکارهای هوشمندانه‌تر را ایجاب می‌کند، با این قید اساسی که مطلوبیت این راهکارها صرفاً مشروط به ساده‌سازی فرایندها و کاهش هزینه‌های دسترسی است. بخش قابل‌توجهی از نقاط قوت و فرصت‌های شناسایی‌شده، در راستای اصول اقتصاد چرخشی شامل کاهش اتلاف، بازتوزیع منابع و بهینه‌سازی مصرف منابع قابل تفسیر هستند.

بر اساس مطالب فوق می‌توان گفت موفقیت فناوری‌های نوظهور صرفاً به ویژگی‌های فنی آن‌ها وابسته نیست، بلکه عوامل اقتصادی، زیرساختی و اجتماعی نیز نقش تعیین‌کننده دارند. فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیا و هوش مصنوعی در سازمان‌های بزرگ و زنجیره‌های تأمین پیشرفته موفق‌تر بوده‌اند، زیرا دسترسی به زیرساخت دیجیتال، داده‌های حجیم و منابع مالی کافی را در اختیار دارند (۴۹، ۵۱). در مقابل، هزینه‌های اولیه بالا، نیاز به تخصص فنی، نگرانی‌های مرتبط با حریم خصوصی داده‌ها و مقاومت کاربران در برابر تغییر، از مهم‌ترین عوامل محدودکننده گسترش این فناوری‌ها محسوب می‌شوند. همچنین موفقیت پلتفرم‌های دیجیتال به میزان مشارکت کاربران و اعتماد اجتماعی وابسته است، در

یافته‌های این مرور نشان داد که فناوری‌های نوین دیجیتال، از جمله اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، بسته‌بندی هوشمند و پلتفرم‌های اشتراک دیجیتال، ضمن کاهش شکاف‌های زنجیره تأمین، داده‌های دقیق و قابل‌اعتمادی برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کنند. در ادامه، این چهار حوزه فناورانه شامل: (۱) دیجیتال و IoT (نظارت بر زنجیره تأمین و هشداردهی هوشمند)، (۲) پلتفرم‌های اشتراک دیجیتال (توزیع مازاد غذا)، (۳) بسته‌بندی هوشمند (ردیابی تازگی) و (۴) هوش مصنوعی (پیش‌بینی اتلاف) مورد بحث قرار می‌گیرند.

مقایسه فناوری‌های شناسایی‌شده نشان می‌دهد که هر یک از آن‌ها در مرحله متفاوتی از زنجیره تأمین غذا نقش ایفا می‌کنند. فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیا و حسگرهای هوشمند بیشتر در پایش لحظه‌ای شرایط نگهداری، حمل‌ونقل و انبارش مواد غذایی مؤثر هستند، در حالی که هوش مصنوعی و یادگیری ماشین عمدتاً در پیش‌بینی تقاضا، بهینه‌سازی موجودی و تصمیم‌گیری داده‌محور کاربرد دارند (۳۸، ۴۶). از سوی دیگر، بسته‌بندی هوشمند بر افزایش ماندگاری و کاهش فساد مواد غذایی تمرکز دارد (۴۲، ۴۹) و پلتفرم‌های دیجیتال نقش مهمی در بازتوزیع مازاد مواد غذایی و اتصال عرضه‌کنندگان به مصرف‌کنندگان ایفا می‌کنند (۳۶، ۴۳، ۴۴). بنابراین، اثربخشی این فناوری‌ها نه به صورت رقابتی، بلکه به صورت مکمل و در قالب یک اکوسیستم دیجیتال قابل تبیین است.

همچنین بررسی مطالعات منتخب نشان می‌دهد که فناوری‌های دیجیتال با سرعت متفاوتی وارد حوزه مدیریت پسماند غذایی شده‌اند. سؤال اینجاست: چرا برخی فناوری‌ها مانند پلتفرم‌های اشتراک دیجیتال توجه پژوهشی بیشتری جلب کرده‌اند. هوش مصنوعی با وجود پتانسیل بالای خود، در رتبه آخر قرار گرفته است. به نظر می‌رسد علت آن در

حالی که اثربخشی بسته‌بندی هوشمند تحت تأثیر هزینه تولید و پذیرش بازار قرار دارد (۳۶، ۴۱).

روند صعودی مطالعات از سال ۲۰۲۰ به بعد را می‌توان تا حدی به همه‌گیری کووید-۱۹ نسبت داد (۳۴). در آن دوره، اختلال در زنجیره‌های تأمین جهانی و افزایش ناگهانی ضایعات غذایی در بخش خانگی، توجه پژوهشگران را به راهکارهای دیجیتال و غیرتماسی معطوف کرد (۲۷). از سوی دیگر، کاهش تدریجی مطالعات در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ احتمالاً ناشی از عبور از بحران اولیه و بازگشت نسبی به شرایط عادی است. نکته قابل توجه، افزایش تنوع فناوری‌ها از سال ۲۰۲۲ است که نشان می‌دهد پژوهشگران از رویکردهای تک‌فناورانه عبور کرده و به سراغ ترکیب راهکارهای دیجیتال، اجتماعی و زیست‌محیطی رفته‌اند؛ تحولی که با منطق اقتصاد چرخشی همخوانی کامل دارد (۱۷، ۲۳).

یافته‌ها نشان می‌دهد اثرگذاری فناوری‌ها با ترکیب راهبردهای اجتماعی، آموزش و سیاست‌های تشویقی افزایش می‌یابد، در حالی که چالش‌هایی مانند هزینه، اعتماد مصرف‌کننده و کمبود زیرساخت‌ها مانع بهره‌برداری کامل هستند. روندهای مشاهده‌شده در مطالعات منتخب، حاکی از افزایش توجه به رویکردهای هوشمند، شفاف و پایدار در مدیریت پسماند غذایی هستند (۲۲، ۳۸).

نتایج این مطالعه با مرور Formentini و Trevisan در سال ۲۰۲۳ (۲۳) در خصوص نقش فناوری‌های دیجیتال در ارتقای پایداری زنجیره تأمین غذایی همسو است، با این تفاوت که مطالعه حاضر تمرکز اختصاصی‌تری بر مدیریت پسماند غذایی و تحلیل SWOT دارد.

در مجموع، فناوری‌های نوظهور به تنهایی مشکل پسماند مواد غذایی را حل نمی‌کنند، اما می‌توانند نقش مهمی در بهبود کارایی، کاهش هزینه‌های بلندمدت و شفافیت زنجیره تأمین ایفا کنند. بررسی مطالعات نشان می‌دهد که اثربخشی این فناوری‌ها به سه عامل وابسته است: سیاست‌های حمایتی و مقررات کارآمد، آموزش عمومی برای تغییر رفتار

مصرف‌کنندگان، و توسعه زیرساخت‌های دیجیتال با دسترسی عادلانه برای همه اقشار جامعه (۱۷، ۲۳).

لازم به ذکر است که پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی از جمله محدودیت بازه زمانی و بررسی صرفاً مقالات دارای متن کامل به زبان فارسی یا انگلیسی مواجه بوده است. با این وجود، مقایسه مطالعات انجام‌شده در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، تفاوت قابل‌توجهی را در الگوی به‌کارگیری فناوری‌های کاهش پسماند غذایی آشکار می‌سازد. این تفاوت عمدتاً ناشی از شکاف زیرساختی، محدودیت منابع مالی و تفاوت سطح بلوغ دیجیتال در نظام‌های مدیریت پسماند غذایی است. در ایران نیز چالش‌هایی مانند محدودیت زیرساخت‌های دیجیتال، هزینه بالای فناوری‌های هوشمند، ضعف یکپارچگی داده‌ها و محدودیت سرمایه‌گذاری در حوزه مدیریت پسماند غذایی می‌تواند سرعت پیاده‌سازی این فناوری‌ها را کاهش دهد. با این حال، توسعه پلتفرم‌های دیجیتال بومی، استفاده از حسگرهای کم‌هزینه و حمایت از استارت‌آپ‌های حوزه اقتصاد چرخشی، ظرفیت قابل‌توجهی برای بهبود مدیریت پسماند غذایی در کشور فراهم می‌کند. بدین ترتیب، همین شکاف، ضرورت پژوهش‌های آتی را در سه محور اصلی ترسیم می‌کند: اول، ارزیابی کمی و واقع‌بینانه از اثر فناوری‌ها بر کاهش پسماند؛ دوم، طراحی مدل‌های کسب‌وکار پایدار متناسب با بافت اقتصادی و زیرساختی کشورهای در حال توسعه؛ و سوم، توسعه راهکارهای ترکیبی هوش مصنوعی و بسته‌بندی هوشمند که ضمن ساده‌سازی فرآیندها، هزینه‌های دسترسی را کاهش دهند.

شکاف‌های پژوهشی و پیشنهاد‌های آینده

در تحقیق حاضر مرور مطالعات وجود چندین شکاف پژوهشی را مشخص نمود. نخست، تعداد مطالعات مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در مقایسه با سایر فناوری‌ها محدود است و شواهد کافی درباره اثربخشی عملی آن‌ها در مقیاس واقعی وجود ندارد (۳۸، ۴۶). دوم، اغلب پژوهش‌ها در کشورهای توسعه‌یافته انجام شده‌اند و داده‌های اندکی از

هماهنگ‌سازی با فرمت مجله استفاده شده است و محتوای علمی مقاله توسط نویسندگان تألیف گردیده است.

کد اخلاق

این مقاله با حمایت کمیته تحقیقات دانشکده علوم پزشکی ساوه و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با کد اخلاق SAVEHUMS.REC.1404.009 انجام شده است.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تضاد منافع مالی یا غیرمالی وجود نداشته است.

حمایت مالی

این مقاله با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشکده علوم پزشکی ساوه و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب انجام شده است.

سهم نویسندگان

رضا نعمتی: طراحی مطالعه، نظارت بر فرآیند تحقیق، تأیید نهایی مقاله

نیایش ضرغامی جستجوی نظام‌مند، غربالگری مقالات، استخراج داده‌ها، نگارش پیش‌نویس اولیه

نرگس حکیمی: تحلیل راهبردی، بازبینی انتقادی مقاله، ترجمه چکیده انگلیسی

فاطمه میرموسوی: تحلیل داده‌ها، تهیه جداول و شکل‌ها، ویرایش مقاله

زهرایجاد: جستجوی نظام‌مند، غربالگری مقالات، استخراج داده‌ها، تحلیل SWOT

کشورهای در حال توسعه در دسترس است. سوم، مطالعات اندکی به ارزیابی همزمان ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی فناوری‌های نوظهور پرداخته‌اند. همچنین شواهد محدودی درباره چالش‌های حریم خصوصی داده‌ها، الزامات قانونی و پذیرش اجتماعی فناوری‌ها وجود دارد. از جمله چالش‌های مهم در توسعه فناوری‌های داده‌محور، ابهام در مالکیت داده‌ها، امنیت اطلاعات مصرف‌کنندگان، نبود چارچوب‌های حقوقی شفاف و ضعف مقررات مرتبط با اشتراک‌گذاری داده‌ها در پلتفرم‌های دیجیتال است. انجام مطالعات مداخله‌ای، ارزیابی‌های هزینه-اثربخشی و پژوهش‌های بومی در کشورهای در حال توسعه می‌تواند مسیر تحقیقات آینده را روشن‌تر سازد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان مراتب قدردانی خود را از کمیته تحقیقات دانشجویی دانشکده علوم پزشکی ساوه به‌دلیل حمایت مالی و تصویب این طرح تحقیقاتی ابراز می‌دارند.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب کمیته تحقیقات دانشجویی دانشکده علوم پزشکی ساوه بوده و نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. در این مطالعه از هوش مصنوعی صرفاً برای ویرایش ساختاری و

References:

1. Aramyan L, Grainger M, Logatcheva K, Piras S, Setti M, Stewart G, et al. Food waste reduction in supply chains through innovations: a review. *Measuring Business Excellence*. 2020;25(4):475–92.
2. Corsini F, Annesi N, Annunziata E, Frey M. Exploring success factors in food waste prevention initiatives of retailers: the critical role of digital technologies. *British Food Journal*. 2023;126.
3. Hajam YA, Kumar R, Kumar A. Environmental waste management strategies and vermi transformation for sustainable development. *Environmental Challenges*. 2023;13:100747.
4. Aschemann-Witzel J, de Hooge I, Amani P, Bech-Larsen T, Oostindjer M. Consumer-Related Food Waste: Causes and Potential for Action. *Sustainability*. 2015;7:6457–77.
5. European-Commission. Food waste. Directorate-General for Health and Food Safety (SANTE). European Union.: https://food.ec.europa.eu/food-safety/food-waste_en; 2020.
6. Bonadonna A, Matozzo A, Giachino C, Peira G. Farmer behavior and perception regarding food waste and unsold food. *British Food Journal*. 2019.
7. Abduli M.A., Akbarpour Shirazi M., Omidvar B., R. S. A Survey Of Municipal Solid Waste Generation In 22 Regions Of Tehran With Solid Waste Reduction Approach. *Toloo-E-Behdasht*. 2015;14(2):23–33.
8. United Nations Environment P. Food Waste Index Report 2021. UNEP; 2021.
9. Food, Agriculture Organization of the United N. The State of Food and Agriculture 2019: Moving forward on food loss and waste reduction. FAO; 2019.
10. Fahiminia M, Farzadkia M, Nazari S, Arsang Jang S, Alizadeh Matbou S, Ibrahimi A, et al. Evaluation of the status of citizen participation in municipal waste source separation plan and offering corrective strategies. *Qom Univ Med Sci J* 2013;7(5):66–72.
11. Żmieńka E, Staniszewski J. Food management innovations for reducing food wastage – a systematic literature review. *Management*. 2020;24:193–207.
12. Adebisi J. Combating Consumer Food Waste – An Exploration of Information Communication Technology Approach. *Journal of Digital Food, Energy & Water Systems*. 2023;4.
13. Jafarzadeh S, Yildiz Z, Yildiz P, Strachowski P, Forough M, Esmaeili Y, et al. Advanced technologies in biodegradable packaging using intelligent sensing to fight food waste. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024;261:129647.
14. Amitangshu Pal, Kant K. Smart Sensing, Communication, and Control in Perishable Food Supply Chain. *ACM Trans Sen Netw*. 2020;16(1):1–41(Article 12).
15. Phadermrod B, Crowder RM, Wills GB. Importance-performance analysis based SWOT analysis. *International journal of information management*. 2019;44:194–203.
16. Bolwig S, Tanner A, Riemann P, Redlingshöfer B, Zhang Y. Reducing consumer food waste using green and digital technologies: UNEP DTU Partnership; 2021. 96 p.
17. Ranjbari M, Shams Esfandabadi Z, Siebers P-O, Pisano P, Quatraro F. Digitally enabled food sharing platforms towards effective waste management in a circular economy: A system dynamics simulation model. *Technovation*. 2024;130:102939.
18. Arksey H, O'Malley L. Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*. 2005;8(1):19–32.
19. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Bmj*. 2021;372:n71.

20. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Ann Intern Med*. 2018;169(7):467–73.
21. Higgins JPT TJ, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, et al, editor(s). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. 6.5, editor2024.
22. Liechti C, Mack G, Ammann J. A systematic literature review of impactful food waste interventions at the consumer level. *Sustainable Production and Consumption*. 2024;52:552–65.
23. Trevisan C, Formentini M. Digital technologies for food loss and waste prevention and reduction in agri-food supply chains: A systematic literature review and research agenda. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2023;71:12326–45.
24. Ramanathan R, Duan Y, Ajmal T, Pelc K, Gillespie J, Ahmadzadeh S, et al. Motivations and Challenges for Food Companies in Using IoT Sensors for Reducing Food Waste: Some Insights and a Road Map for the Future. *Sustainability*. 2023;15(2):1665.
25. Said Z, Sharma P, Thi Bich Nhung Q, Bora BJ, Lichtfouse E, Khalid HM, et al. Intelligent approaches for sustainable management and valorisation of food waste. *Bioresource Technology*. 2023;377:128952.
26. Principato L, Trevisan C, Formentini M, Secondi L, Comis C, Pratesi CA. The influence of sustainability and digitalisation on business model innovation: The case of a multi-sided platform for food surplus redistribution. *Industrial Marketing Management*. 2023;115:156–71.
27. Zhao G, Liu S, Wang Y, Lopez C, Ong A, Chen X. Reducing food waste from social innovation perspective: a review of measures, research gaps and future directions. *International Food and Agribusiness Management Review*. 2023;26(2):199–224.
28. de Almeida Oroski F, da Silva JM. Understanding food waste-reducing platforms: A mini-review. *Waste Management & Research*. 2023;41(4):816–27.
29. Ramanathan U, Ramanathan R, Adefisan A, Da Costa T, Cama-Moncunill X, Samriya G. Adapting Digital Technologies to Reduce Food Waste and Improve Operational Efficiency of a Frozen Food Company—The Case of Yumchop Foods in the UK. *Sustainability*. 2022;14(24):16614.
30. Barone AM, Aschemann-Witzel J. Food handling practices and expiration dates: Consumers' perception of smart labels. *Food Control*. 2022;133:108615.
31. Shinde MND, Patil A. Designing a mobile application for food wastage reduction. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. 2021;8(6).
32. Gull S, Bajwa I, Anwar D, Rashid R. Smart eNose Food Waste Management System. *Journal of Sensors*. 2021;2021.
33. Kumar TB, Prashar D. Review on efficient food waste management system using internet of things. *Int J Cur Res Rev*. 2021;13:143.
34. Annosi MC, Brunetta F, Bimbo F, Kostoula M. Digitalization within food supply chains to prevent food waste. Drivers, barriers and collaboration practices. *Industrial Marketing Management*. 2021;93:208–20.
35. Moltene L, Orsato R. The sharing economy in practice: An exploratory study of the acceptance and use of digital platforms in food waste reduction. *Revista de Administração de Empresas*. 2020;61:1–20.
36. Mazzucchelli A, Gurioli M, Graziano D, Quacquarelli B, Aouina-Mejri C. How to fight against food waste in the digital era: Key factors for a successful food sharing platform. *Journal of Business Research*. 2021;124:47–58.
37. Pramana R, Fadillah A, Arief Daryanto A. Re-Food: Digital Platform-based Innovation Solutions for National Food Waste Problems.

Journal of Physics: Conference Series. 2021;1764:012039.

38. Martin-Rios C, Hofmann A, Mackenzie N. Sustainability-Oriented Innovations in Food Waste Management Technology. Sustainability. 2021;13(1):210.

39. Li C, Miroso M, Bremer P. Review of Online Food Delivery Platforms and their Impacts on Sustainability. Sustainability. 2020;12(14):5528.

40. Manzocco L, Alongi M, Sillani S, Nicoli M. Technological and Consumer Strategies to Tackle Food Wasting. Food Engineering Reviews. 2017;8:1–11.

41. Guimaraes C, Santos C, Moltene L. Sustainable Governance Mechanisms of Digital Platforms of Food Waste Reduction 2020.

42. Chen S, Brahma S, Mackay J, Cao C, Aliakbarian B. The role of smart packaging system in food supply chain. Journal of food science. 2020;85(3):517–25.

43. Mattila M, Mesiranta N, Heikkinen A. Platform-based sustainable business models: reducing food waste in food services. International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management. 2020;24:249.

44. Mullick S, Raassens N, Haans H, Nijssen E. Reducing food waste through digital platforms: A quantification of cross-side network effects. Industrial Marketing Management. 2020;93.

45. Cane M, Rodríguez C. Digital platforms: mapping the territory of new technologies to fight

food waste. British Food Journal. 2020;ahead-of-print.

46. Liegeard J, Manning L. Use of intelligent applications to reduce household food waste. Critical reviews in food science and nutrition. 2020;60(6):1048–61.

47. Ciulli F, Kolk A, Boe-Lillegraven S. Circularity Brokers: Digital Platform Organizations and Waste Recovery in Food Supply Chains. Journal of Business Ethics. 2020;167.

48. Minaam DSA, Abd-ELfattah M, Ali M. Design of an Internet of Things (IoT) network system for kitchen food waste management. International Journal of Computer Science and Network Security. 2018;18(5):130–8.

49. Martin-Rios C, Demen-Meier C, Gössling S. Food waste management innovations in the foodservice industry. Waste Management. 2018;79:196.

50. Poyatos-Racionero E, Ros-Lis JV, Vivancos J-L, Martínez-Máñez R. Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste. Journal of Cleaner Production. 2018;172:3398–409.

51. Gao A, Tian Z, Wang Z, Wennersten R, Sun Q. Comparison between the Technologies for Food Waste Treatment. Energy Procedia. 2017;105:3915–21.

Emerging Technologies in Food Waste Reduction: A Systematic Scoping Review and Strategic SWOT Analysis for Circular Economy

Reza nemati^{1*}, Niyayesh Zarghami², Narges Hakimi³, Fatemeh Mirmousavi², Zahra Eijadi²

1. Department of Environmental Health Engineering, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran.

2. B.Sc. in Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Saveh University of Medical Sciences, Saveh, Iran.

3. M.Sc. in Environmental Health Engineering, Health Officer, Tehran Provincial Office of Education, Ministry of Education, Tehran, Iran.

Received: 25/05/2026

E-Published: 10/06/2026

ABSTRACT:

Introduction: Food waste has become one of the major global sustainability challenges, with significant economic, social, and environmental consequences. Approximately one-third of all food produced for human consumption, equivalent to 1.3 billion tons annually, is wasted worldwide. Despite the rapid growth of digital technologies, integrated evidence regarding the effectiveness and implementation challenges of emerging technologies in food waste management remains limited. This study aimed to investigate the role of emerging technologies in reducing food waste and to analyze their strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT) within the framework of the circular economy.

Methods: This scoping review was conducted based on the PRISMA-ScR guideline. A systematic search was performed in PubMed, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar using keywords such as “emerging technologies,” “food waste,” “Internet of Things,” “artificial intelligence,” and “digital platforms” for studies published between 2017 and 2024. After screening titles, abstracts, and full texts, 37 eligible studies were included and thematically analyzed.

Results: Analysis of the selected studies identified four major technological domains: Internet of Things and smart sensors, artificial intelligence and machine learning, smart packaging, and digital sharing platforms. Digital platforms accounted for the highest proportion of studies (21.6%), whereas artificial intelligence and machine learning represented the lowest share (8.1%). These technologies facilitate data-driven decision-making and support the transition toward a circular economy. SWOT analysis demonstrated that smart monitoring, resource optimization, and enhanced supply chain transparency were among the main strengths of these technologies, while high implementation costs, infrastructural limitations, privacy concerns, and limited consumer acceptance were identified as major challenges.

Conclusion: Emerging technologies alone cannot fully solve the problem of food waste; however, when combined with supportive policies, targeted public education, and informed consumer participation, they can play a significant role in developing sustainable, transparent, and circular food systems. Nevertheless, heterogeneity among studies and differences in evaluation indicators were among the main limitations of this review.

Keywords: Food waste reduction; Emerging technologies; Internet of Things; Artificial intelligence; Circular economy; SWOT analysis; Scoping review

*Corresponding Author: Masoud Asadi, E-mail: reza.nemati84@gmail.com

CITATION: Nemati R, Zarghami N, Hakimi N, Mirmousavi F, Ijadi Z. Emerging technologies in reducing food waste: A systematic scoping review and strategic SWOT analysis for the circular economy. *Journal of Saveh University of Medical Sciences*, 2026; 2(1): -. doi: [10.22034/sumsj.2026.583243.1107](https://doi.org/10.22034/sumsj.2026.583243.1107)