

نشریه فنی:

کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت تلفات و دورریز مواد غذایی

سید رضا فلسفی و فروغ شواخی



سال انتشار: ۱۴۰۳

بسم الله الرحمن الرحيم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی:

کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت تلفات و دورریز مواد غذایی

تهیه و تدوین:

سیدرضا فلسفی و فروغ شواخی

اعضای هیئت علمی به ترتیب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع
طبیعی صفی آباد دزفول و مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار:

۱۴۰۳



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی



نوع نوشتار: نشریه فنی

عنوان نوشتار: کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت تلفات و دور ریز مواد غذایی

نگارندگان: سیدرضا فلسفی و فروغ شواخی

ویراستار ادبی: محمدرضا داهی

صفحه آرا: شبنم جباری

طراح جلد: سمیه وطن دوست

ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

شمارگان: محدود

نوبت چاپ: اول

سال انتشار: ۱۴۰۳



مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ۶۷۰۸۱ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی سازمان
تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۳/۱۲/۲۷

مخاطبان نشریه فنی

مدیران و سیاست‌گذاران زنجیره تامین مواد غذایی، سردخانه‌داران، محققان حوزه هوش مصنوعی و مدیران شرکت‌های فرآوری، بسته‌بندی، حمل و نقل، عرضه و توزیع-کننده مواد غذایی

هدف‌های آموزشی

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- کاربرد هوش مصنوعی در کاهش تلفات مراحل نگهداری و حمل و نقل محصولات کشاورزی
- کاربرد هوش مصنوعی در کاهش تلفات فرآوری، بسته‌بندی، عرضه و توزیع مواد غذایی
- کاربرد هوش مصنوعی در کاهش دورریز مصرف‌کنندگان مواد غذایی

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه..... ۱
- ۲- تلفات و دورریز مواد غذایی از دید سازمان خوار بار و کشاورزی جهانی (فائو) ۲
- ۳- مراحل مختلف وقوع تلفات و دورریز در محصولات غذایی پس از برداشت..... ۳
- ۳-۱. تلفات محصول در مراحل ابتدایی پس از برداشت ۳
- ۳-۲. تلفات محصول در مرحله سردخانه گذاری و انبارداری..... ۴
- ۳-۳. تلفات در مرحله فرآوری مواد خام و بسته‌بندی ۵
- ۳-۴. تلفات در مرحله حمل و نقل و توزیع محصول ۵
- ۳-۵. تلفات در خرده فروشی‌ها و مراکز تحویل محصولات غذایی ۷
- ۳-۶. تلفات مواد غذایی در کارخانه‌های فرآوری ۸
- ۳-۷. دورریز مواد غذایی توسط مصرف‌کننده ۸
- ۴- مفاهیم بنیادین هوش مصنوعی ۹
- ۴-۱. داده ۱۰
- ۴-۲. الگوریتم ۱۰
- ۴-۳. یادگیری ماشینی ۱۰
- ۴-۴. حلقه‌های بازخورد ۱۱
- ۵- کاربرد هوش مصنوعی در کاهش تلفات و دورریز پس از برداشت ۱۱
- ۵-۱. کاربرد هوش مصنوعی در کاهش تلفات در سردخانه و انبار ۱۱
- ۵-۲. کاربرد هوش مصنوعی در کاهش تلفات در مرحله حمل و نقل محصول غذایی ۱۴
- ۵-۳. کاربرد هوش مصنوعی در در کاهش تلفات فرآوری مواد غذایی ۱۵

- ۴-۵. تلفیق هوش مصنوعی با بسته‌بندی هوشمند به منظور کاهش تلفات و دورریز... ۱۸
- ۵-۵. هوش مصنوعی در فروشگاه‌ها و مراکز عرضه مواد غذایی ۲۱
- ۵-۶. هوش مصنوعی در کاهش دورریز توسط مصرف‌کنندگان مواد غذایی ۲۳
- ۵-۷. هوش مصنوعی در بازیافت تلفات و دورریز مواد غذایی ۲۶
- ۶- چالش‌های آینده توسعه هوش مصنوعی در جهان و ایران ۲۶
- ۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۲۷
- ۸- منابع ۲۸

۱- مقدمه

تلفات و دورریز مواد غذایی^۱ (FLW) یکی از ابر چالش‌های جهانی با پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی قابل توجه است. هر سال تقریباً یک‌سوم از کل مواد غذایی تولیدشده در جهان، معادل حدود ۱/۳ میلیارد تن، از بین می‌رود. این حجم زیاد تلفات و دورریز مواد غذایی نه تنها مشکل امنیت غذایی را تشدید می‌کند بلکه موجب اتلاف منابعی همچون آب، انرژی و نیروی کار نیز می‌شود (شانس^۲ و همکاران، ۲۰۱۸؛ فلسفی^۳ و همکاران، ۲۰۲۴).

در سال‌های اخیر، اعمال تحریم‌های ظالمانه و بروز مشکلاتی مانند افزایش تورم در قیمت اقلام غذایی، امنیت غذایی بخش مهمی از افراد جامعه را تحت تاثیر قرار داده است. این موضوع اهمیت استفاده حداکثری از منابع و کاهش اتلاف محصولات غذایی را دو چندان کرده است. مقابله با این مسئله نه تنها وظیفه‌ای اخلاقی است بلکه فرصتی اقتصادی نیز محسوب می‌شود، به طوری که کسب‌وکارها و کشاورزان می‌توانند از راهکارهایی بهره‌مند شوند که تلفات و دورریز پس از برداشت را به حداقل و دسترسی به منابع غذایی را به حداکثر می‌رسانند. بر همین اساس، سازمان‌های مختلف ملی و بین‌المللی اعم از سازمان ملل، سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، سازمان‌های مردم‌نهاد و شرکت‌های فناور با ورود به این عرصه سعی در ارائه راهکارهایی برای کاهش میزان تلفات و دورریز مواد غذایی داشته‌اند (دی موراس^۴ و همکاران، ۲۰۲۰).

هوش مصنوعی (AI)^۵ امروزه در بخش‌های مختلف صنعت غذا و شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در حوزه مواد غذایی در کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فناوری در

^۱ Food Loss & Waste

^۲ Schanes

^۳ Falsafi

^۴ De Moraes

^۵ Artificial Intelligence

زمینه‌هایی همچون تشخیص نقص‌های محصولات و کنترل کیفیت با بهره‌گیری از بینایی ماشین، بهینه‌سازی فرمولاسیون محصولات جدید، فروشگاه‌های آنلاین مواد غذایی، شخصی‌سازی پیشنهادات به مشتریان، ارائه تخفیف‌های ویژه توسط برخی رستوران‌ها و فست‌فودها برای سفارش غذا، مدیریت میز و همچنین مدیریت زمان انتظار مشتریان کاربرد دارد. در راستای کاهش تلفات و دورریز مواد غذایی، استفاده از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نیز به‌عنوان یک روش فناورانه و نوین با قابلیت‌های منحصر به فرد در مدیریت تلفات و دورریز پس از برداشت مواد غذایی مورد بررسی قرار گرفته است. هوش مصنوعی با توانایی تجزیه و تحلیل حجم گسترده‌ای از داده‌ها، بهینه‌سازی فرایندها و پیش‌بینی نتایج می‌تواند نحوه عملکرد سیستم‌های غذایی را متحول کند. هوش مصنوعی از پایش در لحظه نگهداری تا بهبود مسیریابی‌ها و کنترل مداوم کیفیت مواد غذایی، کاربردهای متعددی برای کاهش تلفات و دورریز مواد غذایی ارائه می‌دهد (سید^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

در کشورهایمانند ایران شیوه‌های سنتی پس از برداشت اغلب به تلفات و دورریز قابل توجهی می‌انجامد. در این نشریه، اهمیت استفاده از رویکردهای مبتنی بر هوش مصنوعی برای کاهش تلفات و دورریز مواد غذایی پس از برداشت بررسی می‌شود. اجرای چنین راه‌حلهایی می‌تواند به معنای سودآوری و کارآمدی بیشتر برای کسب‌وکارها باشد و برای مصرف‌کنندگان دسترسی بیشتر به غذای باکیفیت و در نتیجه امنیت غذایی را به همراه دارد.

۲- تلفات و دورریز مواد غذایی از دید سازمان خوار بار و کشاورزی جهانی (فائو)

بر اساس آمارهای فائو، میزان تولید جهانی محصولات غذایی باید تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۶۰ درصد افزایش پیدا کند تا بتواند پاسخگوی نیازهای جمعیت در حال رشد جهان

^۱ Said

باشد. با این حال، بیش از یک سوم این محصولات تولید شده به صورت تلفات و دورریز از بین می‌روند (دی مورائس و همکاران، ۲۰۲۰).

مطابق گزارش سازمان خوار بار و کشاورزی ملل متحد، هرگونه هدررفت در زنجیره عرضه مواد غذایی از زمان برداشت، کشتار یا صید تا قبل از خرده‌فروشی، تلفات (ضایعات) مواد غذایی و آنچه در سطح خرده‌فروشی و مصرف‌کننده هدر می‌رود، دورریز در نظر گرفته می‌شود. آن بخش از مواد غذایی که در دیگر صنایع مانند تولید خوراک دام مصرف می‌شود با وجود افت اقتصادی، تلفات یا دورریز مواد غذایی محسوب نمی‌شود. بخش‌های غیرخوراکی مواد غذایی نیز به عنوان تلفات یا دورریز به حساب نمی‌آیند. بر اساس آمارهای سازمان جهانی فائو، تلفات ماده غذایی بیشتر در کشورهای کمتر توسعه یافته مطرح می‌شود در حالی که دورریز غذا چالش اصلی کشورهای توسعه یافته است (فائو، ۲۰۱۹).

۳- مراحل مختلف وقوع تلفات و دورریز محصولات غذایی پس از برداشت

۳-۱- تلفات محصول در مراحل ابتدایی پس از برداشت

این مرحله از زمان برداشت آغاز می‌شود و شدت آن تا زمانی ادامه دارد که محصول به سردخانه مناسب تحویل داده شود. از دلایل عمده وقوع تلفات در این مرحله می‌توان به روش‌های نامناسب یا زمان نامناسب برداشت محصول اشاره کرد (شکل ۱).



شکل ۱- روش سستی برداشت و تاثیر آن بر تلفات محصول

علاوه بر این، حمل و نقل محصول برداشت‌شده نیز باید تحت شرایط کنترل‌شده باشد. حمل و نقل نامناسب محصول منجر به افت کمی و کیفی خواهد شد (شکل ۲). در اکثر محصولات حساس به فساد مانند میوه‌ها، سبزی‌ها، محصولات لبنی و گوشت، برقراری زنجیره سرد^۱ نقش مهمی در کاهش خطر فساد محصول دارد. از دیگر عوامل مهم در کنترل فساد محصول در این مرحله می‌توان مدت زمان حمل و نقل محصول تا رسیدن به مقصد اشاره کرد، لازم است محصولات حساس به فساد در کمترین زمان ممکن به مقصد تحویل داده شوند.

شکل ۲- حمل و نقل نامناسب محصولات کشاورزی پس از برداشت



۳-۲- تلفات محصول در مرحله سردخانه‌گذاری و انبارداری

محصولات کشاورزی حتی در صورت برداشت، بارگیری و حمل و نقل مناسب، می‌توانند طی سردخانه‌گذاری و انبارداری نامناسب دچار فساد شوند. در این مرحله، شرایطی مانند رطوبت زیاد، تهویه نامناسب، و دمای نامناسب می‌تواند باعث فساد میکروبی در محصول شود. علاوه بر این، در صورت شرایط نگهداری نامناسب، آفاتی مانند جوندگان یا حشرات نیز می‌توانند محصولات غذایی ذخیره شده را از بین ببرند (ژو^۲ و فلسفی، ۲۰۲۴).

در محصولات کشاورزی، شرایط نامناسب نگهداری می‌تواند منجر به گسترش قارچ‌های بیماری‌زا و تولید انواع سموم مانند آفلاتوکسین در محصول خام شود که با مصرف محصول

^۱ Cold Chain

^۲ Xu

فرآوری شده خسارات جبران ناپذیری برای سلامت مصرف کننده به دنبال خواهد داشت (اندراها^۱ و همکاران، ۲۰۲۰؛ شواخی و همکاران، ۲۰۲۳).

۳-۳- تلفات محصول در مرحله فرآوری مواد خام و بسته‌بندی

در این مرحله، مواد خام اولیه طی فرایندهای مختلف مانند تمیز کردن، درجه‌بندی، آنزیم‌بری، پخت و بسته‌بندی، تبدیل به محصولی می‌شوند که قابل مصرف کردن است. در مرحله درجه‌بندی، محصول به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند ظاهر، رنگ و اندازه نامناسب عموماً از چرخه مصرف خارج می‌شود، هرچند همچنان قابل مصرف کردن است (لی و همکاران^۲، ۲۰۲۳).

روش‌های نامناسب پوست‌گیری و برش‌زنی نیز می‌توانند باعث اتلاف بخش عمده‌ای از محصولات مانند سبزی‌ها و میوه‌ها شوند. بسته‌بندی، عامل مهم دیگر در مدیریت اتلاف محصولات غذایی در این مرحله محسوب می‌شود. استفاده از بسته‌بندی‌های بی‌کیفیت یا نامناسب می‌تواند باعث بروز فساد فیزیکی، شیمیایی یا میکروبی در مراحل مختلف مانند نگهداری و حمل و نقل شود (ینگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۴).

۳-۴- تلفات محصول در مرحله حمل و نقل و توزیع محصول

در این مرحله، محصول نهایی آماده مصرف با استفاده از سیستم‌های مختلف حمل و نقل به واحدهای عمده‌فروشی یا خرده‌فروشی تحویل داده می‌شوند یا مصرف‌کننده می‌-رسانند. مهم‌ترین چالش در این مرحله، رعایت زنجیره سرد محصول و به حداقل رساندن زمان تحویل آن است. اگر زنجیره سرد رعایت نشود (شکل ۳)، محصولاتی مانند انواع گوشت سفید و قرمز، محصولات تازه و محصولات لبنی می‌توانند دچار فساد و تلفات شوند.

^۱ Ndraha

^۲ Li

^۳ Yang

چیدمان نامناسب بار، بارگیری بیش از حد و تاخیر در تحویل محصولات غذایی از جمله دیگر عوامل تلفات محصول در این مرحله است (کیو^۱ و همکاران، ۲۰۲۴).



شکل ۳- ماشین‌های حمل محصول بدون زنجیره سرد



بررسی موقعیت بارگیری بسته

押出機

伝票入力 小物

伝票番号 161番 123456789012

100番目 0000-0000-1234 訂正

積込位置 ① 計量機

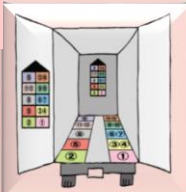
荷物情報

TEL 12345678901

住所 広島市南区 中区 4-11-7

系名 クロネコ株式会社

هنگام بارگیری، محل بسته‌ها در کامیون مشخص می‌شود تا در زمان تحویل به راحتی قابل دسترس باشد



شکل ۴- سامانه نکو در شرکت یاماتو ژاپن (شواخی و رواقی، ۱۴۰۰)

^۱ Qiu

شرکت یاماتو^۱ ژاپن از تکنولوژی هوش مصنوعی برای تحویل کالاهای سفارشی استفاده می‌کند (شواخی و رواقی، ۱۴۰۰). سامانه نکو^۲ این شرکت بر اساس موقعیتیابی برخط طراحی شده است. نحوه قرارگیری مرسوله مطابق موقعیت مکانی تحویل‌گیرنده است (شکل ۴).

۳-۵- تلفات محصول در مرحله خرده‌فروشی‌ها و مراکز تحویل محصولات غذایی

مغازه‌داران اغلب تمایل دارند قفسه‌های مغازه خود را پر از محصول نشان‌دهند تا مشتری بیشتری به سمت مغازه جلب کنند. این موضوع باعث می‌شود تاریخ انقضای محصول پیش از به‌فروش رسیدن کالا به سر برسد. علاوه بر این، عموماً مصرف‌کننده تمایل به خرید محصولاتی دارد که از نظر ظاهری کاملاً بی‌نقص باشند. در این حالت، محصولاتی که کاملاً خوراکی هستند اما ظاهری نسبتاً نامناسب دارند، یا توسط مغازه‌دار دور ریخته می‌شوند یا به این دلیل که مصرف‌کننده آنها را نخریده است در قفسه‌های مغازه باقی می‌مانند تا تاریخ انقضای آنها به سر برسد (دی مورائس و همکاران، ۲۰۲۰).

در رستوران‌ها و بیرون‌برها، تولید بیش از حد غذا یا پرس‌های غذایی بیش از حد بزرگ از مهم‌ترین دلایل دورریز هستند. در این حالت، غذایی که فروخته نشده یا خریداری شده اما مصرف نشده است دور ریخته می‌شود در حالی که همچنان کاملاً مصرف‌کردنی است (شکل ۵).

^۱ YAMATO

^۲ NEKO



شکل ۵- مدیریت نشدن و حجم بالای دورریز مواد غذایی در رستوران‌ها

۳-۶- تلفات مواد غذایی در کارخانه‌های فرآوری

امروزه پایداری به یک نگرانی فزاینده در صنایع مختلف تبدیل شده است، و صنعت فرآوری مواد غذایی نیز از این قاعده مستثنی نیست. در این صنعت، تلفات غذا چالشی مهم شناخته می‌شود که هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست‌محیطی پیامدهای منفی به دنبال دارد. صنعت فرآوری غذا به دلیل پیچیدگی زنجیره تامین و نیز به دلیل ماهیت فسادپذیر مواد غذایی، با چالش‌های متعددی در زمینه کاهش تلفات مواد غذایی مواجه است. تلفات در مرحله فرآوری می‌تواند به دلایل مختلفی از جمله فناوری‌های ناکارآمد، مدیریت نامناسب، کمبود زیرساخت‌ها و آموزش‌ندیدن کارکنان رخ دهد که نه تنها منجر به هدر رفتن منابع می‌شود، سودآوری شرکت‌ها را نیز کاهش می‌دهد (دورا^۱ و همکاران، ۲۰۲۰).

۳-۷- دورریز مواد غذایی توسط مصرف‌کننده

مصرف‌کنندگان محصولات غذایی یکی از مهم‌ترین حلقه‌های ایجاد دورریز محصولات غذایی هستند (شکل ۶). خرید بیش از حد مواد خوراکی به دلیل نداشتن برنامه غذایی

^۱ Dora

مشخص یا تخفیف‌های هیجان‌انگیزی که فروشندگان روی محصولات غذایی اعمال می‌کنند باعث خرید بیش از حد محصول توسط مصرف‌کننده می‌شوند. این محصولات اغلب به دلیل عبور از تاریخ انقضا و مصرف نشدن، دور ریخته می‌شوند (آشمان-ویتزل^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

علاوه بر این، شرایط نامناسب نگهداری محصول در خانه می‌تواند سبب فساد محصولات غذایی شود. برای مثال، نگهداری موز در کنار سیب می‌تواند باعث تسریع در رسیدگی و خراب شدن آن پیش از مصرف شود. مواد غذایی باقیمانده از یک وعده غذایی اغلب فراموش می‌شوند و آنقدر در یخچال نگهداری می‌شوند تا فاسد و دورریز شوند (آکس^۲ و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل ۶- عدم مدیریت و دورریز مواد غذایی توسط مصرف‌کننده

۴- مفاهیم بنیادین هوش مصنوعی

هوش مصنوعی به توانایی دستگاه یا سیستم کامپیوتری برای اجرای وظایفی گفته می‌شود که معمولاً نیاز به هوش انسانی دارند. در این مدل، ماشین‌ها یا کامپیوترها طوری

^۱ Aschemann-Witzel

^۲ Aktas

طراحی می‌شوند که مانند انسان‌ها فکر کنند، یاد بگیرند و تصمیم بگیرند، اما آن‌ها می‌توانند حجم بسیار زیادی از داده‌ها را به سرعت و به طور مؤثر پردازش کنند (ژنگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). برای عملی‌شدن این قابلیت‌ها، هوش مصنوعی از مجموعه‌ای از مفاهیم و ابزارها استفاده می‌کند (شکل ۷) که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد (ابوالسعد^۲ و همکاران، ۲۰۲۲).

۴-۱- داده‌ها^۳

داده‌ها اطلاعات خامی هستند که هوش مصنوعی به عنوان ورودی اولیه دریافت می‌کند. این اطلاعات می‌توانند به صورت اعداد (مانند یک فایل اکسل)، متن، صدا یا تصویر در اختیار هوش مصنوعی قرار گیرند. به طور کلی، داده‌هایی که در اختیار هوش مصنوعی قرار می‌گیرند هر چه جامع‌تر و منظم‌تر باشند، نتایجی که هوش مصنوعی ارائه می‌دهد دقیق‌تر و صحیح‌تر خواهد بود (ینگ و همکاران، ۲۰۲۴).

۴-۲- الگوریتم

الگوریتم‌ها مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های مرحله به مرحله و پشت سر هم هستند که داده دریافتی را به خروجی مطلوب تبدیل می‌کنند.

۴-۳- یادگیری ماشین

همان‌طور که انسان از اطلاعاتی که در زندگی روزمره از طریق حواس پنج گانه، تجربیات روزانه یا مطالعه کسب می‌کند علوم مختلف را یاد می‌گیرد، هوش مصنوعی نیز توانایی یادگیری اطلاعاتی را دارد که در اختیار آن قرار داده می‌شود. به فرایند یادگیری در هوش مصنوعی، یادگیری ماشین گفته می‌شود. برای مثال، اگر مجموعه‌ای از میوه‌ها و سبزی‌ها همراه با تصویر برای هوش مصنوعی تعریف شوند، هوش مصنوعی می‌تواند بر

^۱ Zhang

^۲ Abouelsaad

^۳ Data

اساس الگوریتم‌هایی که ایجاد می‌کند، تشخیص دهد تصاویر جدید مربوط به چه سبزی یا میوه‌ای است (ژنگ و همکاران، ۲۰۲۱).

۴-۴- حلقه‌های بازخورد

هوش مصنوعی پس از ارائه خروجی، از کاربر در خصوص رضایت بخش بودن نتایج، همواره بازخورد دریافت می‌کند. در صورت دریافت بازخورد منفی از کاربر، هوش مصنوعی الگوریتم‌هایی را که برای دستیابی به خروجی استفاده کرده بود را اصلاح می‌کند و خروجی جدید به کاربر ارائه می‌دهد. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که کاربر به خروجی مطلوب برسد. هوش مصنوعی طی فرایند یادگیری ماشین از این حلقه‌های بازخورد دانش جدید کسب می‌کند و در صورت قرار گرفتن در موقعیت مشابه، خروجی مطلوب را ارائه می‌دهد (سید و همکاران، ۲۰۲۳).

هوش مصنوعی با توانایی منحصر به فردی که در پردازش حجم گسترده‌ای از داده‌ها، شناسایی الگوها و ارائه پیش‌بینی‌های دقیق دارد، به ابزاری قدرتمند برای مواجهه با چالش‌های پیچیده تبدیل شده است. از جمله چالش‌های بسیار گسترده جهان امروز، چه در سطح ملی و چه در سطوح بین‌المللی، وجود تلفات و دورریز در مراحل مختلف پس از برداشت است. در بخش‌های بعد به بررسی توانایی‌های هوش مصنوعی در مدیریت تلفات و دورریز محصولات غذایی در مراحل پس از برداشت پرداخته شده است.

۵- کاربرد هوش مصنوعی در کاهش تلفات و دورریز پس از برداشت

۵-۱- کاربرد هوش مصنوعی در کاهش تلفات سردخانه و انبار

هوش مصنوعی می‌تواند نقش مهمی در کنترل و بهبود شرایط نگهداری مواد غذایی در سردخانه‌ها و انبارها داشته باشد و بالطبع میزان تلفات و دورریز محصول را کاهش دهد. حسگرهای موجود در فضای انبارها و سردخانه‌ها اعم از حسگرهای دما، رطوبت یا تشخیص گاز، به عنوان حواس چندگانه هوش مصنوعی عمل می‌کنند. هوش مصنوعی با پایش

لحظه‌ای اطلاعات دریافتی از این حسگرها در صورت بروز هر گونه نوسان غیر عادی در شرایط نگهداری محصول، علاوه بر ارسال هشدار به مسئول مربوط گام‌های کنترلی لازم را نیز برمی‌دارد (هوآنگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۱).

در همین راستا، شرکت والمارت^۲ با بهره‌گیری از فناوری‌های وابسته به هوش مصنوعی شرایط نگهداری محصولات غذایی در سردخانه‌های خود را تحت کنترل قرار داده است. در سردخانه‌های این شرکت از روش‌های تصویربرداری‌های طیفی^۳ برای بررسی ویژگی‌های ظاهری نمونه‌ها و روش تصویر برداری فروسرخ برای رصدکردن لحظه‌ای دمای سطح محصولات استفاده شده است (شکل ۷). اگر محصولی برای مدتی معین به دلیل نوسان‌های شرایط انبار در معرض دمای نامناسب قرار گیرد، هوش مصنوعی با توجه به میزان نوسان‌های دمایی و مدت زمانی که محصول در معرض دمای نامناسب بوده است، تاریخ انقضای جدید را برای محصول در نظر می‌گیرد و در صورت لزوم آن را در فهرست خروج از انبار قرار می‌دهد (والمارت، ۲۰۲۴). با رصد لحظه‌ای تصویرهای مخابره شده از دوربین‌های فرا طیفی، هوش مصنوعی پی به ظهور اولین نشانه‌ی بروز فساد در محصول در اثر توسعه بیماری یا رشد آفات می‌برد و هشدارهایی در راستای برداشتن گام‌های اصلاحی لازم (مانند تغییر در شرایط انبارداری و تصمیم‌گیری در خصوص محصولات آسیب دیده، بسته به میزان خسارت) مخابره می‌کند.

علاوه بر این، شرکت والمارت در زمینه نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه تجهیزات سرمایشی خود نیز از فناوری هوش مصنوعی و اینترنت اشیا استفاده کرده است. سرورهای هوش مصنوعی این شرکت با استفاده از فناوری مبتنی بر اینترنت اشیا^۴ به طور پیوسته در حال دریافت اطلاعات از وضعیت فعالیت موتور و کندانسور تجهیزات سرمایشی هستند.

^۱ Hoang

^۲ Walmart

^۳ Spectral

^۴ Internet of things

هرگونه اختلال در عملکرد این سیستم‌ها را هوش مصنوعی به سرعت ثبت و علت‌یابی می‌کند. در سردخانه محصولات حساس به فساد، مانند محصولات گوشتی، می‌توان تغییرات ظاهری محصول را که ممکن است به راحتی و با چشم انسان قابل تشخیص نباشند، با تصویربرداری‌های طیفی رصد و کوچکترین تغییرات مبنی بر آغاز فساد محصول را مشخص کرد (چوی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). به طور کلی، هوش مصنوعی برای اجرای فعالیت‌های ذکرشده به تجهیزات متعددی نیاز دارد که وظیفه دریافت و مخابره لحظه‌ای اطلاعات به سرور هوش مصنوعی را بر عهده دارند. از جمله این تجهیزات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- حسگرهای محیطی: تعیین سطح دما، رطوبت و انواع گازها در محیط،
- برچسب‌های RFID^۲: تعیین تعداد باقیمانده محصول و مکان قرارگیری آن،
- حسگرهای اینترنت اشیا: ارسال اطلاعات لحظه‌ای از وضعیت دستگاه‌های مختلف مانند خنک‌کننده‌ها، تسمه نقاله‌ها و غیره،
- دوربین‌های فرسرخ و تصویرهای طیفی.

^۱ Choi

^۲ Radio Frequency Identification



شکل ۷- انبارهای شرکت والمارت مجهز به دوربین‌های فروش‌سرخ و حسگرهای متصل به سرور هوش مصنوعی (چپ) و تجهیزات فرستنده اطلاعات به سرورهای هوش مصنوعی (راست)
(والمارت، ۲۰۲۴)

۵-۲- کاربرد هوش مصنوعی در کاهش تلفات و دورریز در مرحله حمل و نقل محصول غذایی

هوش مصنوعی در مرحله حمل و نقل مواد اولیه و محصول با تعیین مسیرهای حمل و نقل و همچنین ردیابی لحظه‌ای محصول از زمان بارگیری تا تحویل، خطر فساد و اتلاف محصول را کاهش می‌دهد.

- **مسیر یابی حمل و نقل پویا:** هوش مصنوعی با دسترسی لحظه‌ای به داده‌های ترافیکی و وضعیت جوی، بهترین مسیر را برای ماشین‌های توزیع تعیین می‌کند. در این حالت با کاهش زمان انتقال، احتمال فساد و اتلاف محصول کاهش می‌یابد.
- **پایش وضعیت محصول از زمان دریافت تا تحویل:** حسگرهای محیطی به طور مداوم شرایط داخل کابین حمل محصول مانند دما، رطوبت و شرایط تهویه را به سرور هوش مصنوعی مخابره می‌کنند. در این حالت، با بروز هرگونه تغییر نامناسب در وضعیت حمل بار، هوش مصنوعی هشدار می‌فرستد و راهکار رفع خطا را گزارش می‌دهد. این موضوع زمانی اهمیت می‌یابد که بدانیم روزانه هزاران خودرو در حال حمل محصولات غذایی

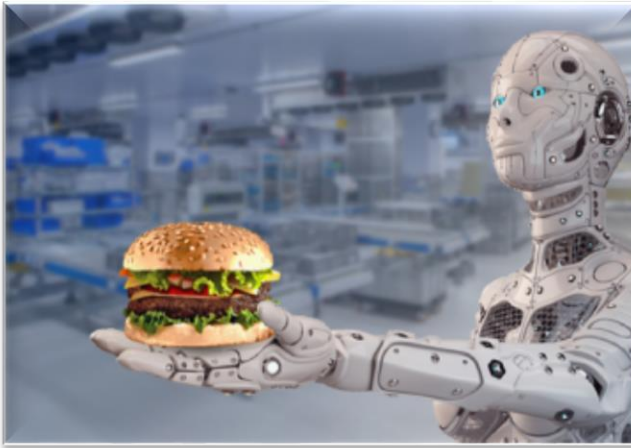
است و کنترل همزمان و برخط آنها توسط نیروی انسانی تقریباً ناممکن است. در حال حاضر اغلب ماشین‌های حمل بار مجهز به حسگرهای محیطی و مکان‌یابی هستند اما رهگیری و بررسی آنها به صورت برخط صورت نمی‌گیرد. هرگاه محصول نهایی در نقطه‌ای دچار اتلاف یا آسیب شود، یکی از گلوگاه‌هایی را که مامورین کنترل کیفیت بررسی می‌کنند اطلاعات مخابره شده از این حسگرهاست (کیو، ۲۰۲۴).

۵-۳- کاربرد هوش مصنوعی در کاهش تلفات فرآوری مواد غذایی

تلفات مواد غذایی به‌هنگام فرآوری، موضوعی مهم در زنجیره تأمین غذاست و به خسارت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی قابل توجهی می‌انجامد. هوش مصنوعی با ارائه راهکارهای نوین، پتانسیل بالایی برای کاهش این تلفات دارد.

هوش مصنوعی در تولید مواد غذایی، نظارت بر کل فرآیند زنجیره تأمین، پیش‌بینی قیمت، بهینه‌سازی فرآیند تولید، مدیریت موجودی و مدیریت حمل و نقل نقش دارد (شکل ۸) (سید و همکاران، ۲۰۲۰). مواردی از این قابلیت‌ها در ادامه شرح داده شده است:

بهینه‌سازی فرآیند تولید: الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌توانند پارامترهای فرآوری مانند دما، زمان و فشار را به گونه‌ای تنظیم کنند که کیفیت محصول نهایی حداکثر و تلفات آنها حداقل شود.



شکل ۸- کاربرد هوش مصنوعی در فرآوری مواد غذایی (رامیرز آسیس^۱، ۲۰۲۰)

پیش‌بینی و جلوگیری از خرابی دستگاه‌های فرآوری مواد غذایی: با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، می‌توان داده‌های مربوط به عملکرد تجهیزات را تجزیه و تحلیل و خرابی آنها را پیش‌بینی کرد. این امر می‌تواند به تعمیر پیشگیرانه و جلوگیری از توقف خط تولید و در نتیجه کاهش تلفات ناشی از آنها کمک کند. یادگیری ماشینی در تعمیر و نگهداری دستگاه‌های فرآوری مواد غذایی به کاهش هزینه‌های عملیاتی و نیرو و استفاده از منابع و افزایش بازده کمک می‌کند. روش‌های یادگیری ماشین، دوربین‌ها، حسگرها و اتصال به اینترنت همگی در این روش استفاده می‌شوند.

پیش‌بینی عرضه و تقاضا و مدیریت موجودی: هوش مصنوعی با ارائه روشی برای پیش‌بینی تقاضا برای حمل و نقل، قیمت‌گذاری و موجودی، ما را از تهیه اقسام بیش از حد نجات می‌دهد، و گر نه این اقسام از بین می‌روند و تلف می‌شوند.

^۱ Ramirez-Asis

کاهش تعداد کارکنان و انتخاب ماده خام متناسب با نوع فرآوری: پیش از این تولیدکنندگان مجبور بودند تعداد زیادی از کارکنان را برای کارهای تکراری در انتخاب و تولید مواد غذایی استخدام کنند. اپلیکیشن‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند تعیین کنند که ماده خام مشخص مناسب چه نوع فرآوری است. برای مثال، کدام سیب‌زمینی برای چیپس و کدام سیب‌زمینی برای سرخ کردن مناسب‌تر است. بدون ابزار هوش مصنوعی این انتخاب زمان‌بر و ناکارآمد است. بازوهای رباتیک در این زمینه کاربرد دارند (شکل ۹).

حمل و نقل مواد غذایی خام و فرآوری شده: یادگیری ماشینی در حمل غذا بسیار مهم است. حمل و نقل هوشمند به تحویل غذا و ردیابی محصولات کمک می‌کند و دورریز مواد غذایی را کاهش می‌دهد. تحویل غذا در رستوران‌ها بهبود می‌یابد و سیستم‌های صنعتی و حمل و نقل مدرن بیشتری فعال می‌شوند.

شبکه‌های محاسباتی گسترده و قدرتمند حسگرها، ماشین‌ها، سیستم‌ها، ابزارهای هوشمند و افراد داخل این شبکه‌ها به طور مداوم داده تولید می‌کنند. با افزایش قدرت کامپیوتر، این کلان داده^۱ سریع‌تر، دقیق‌تر و عمیق‌تر نسبت به قبل پردازش می‌شود.

کنترل کیفیت هوشمند: سیستم‌های مبتنی بر بینایی ماشین^۲ و یادگیری ماشین می‌توانند به طور خودکار کیفیت مواد اولیه و محصولات نهایی را ارزیابی کنند. این امر می‌تواند به شناسایی زودهنگام محصولات معیوب و جلوگیری از ورود آنها به مراحل بعدی فرآوری و در نتیجه کاهش تلفات کمک کند. در همین راستا، گائو^۳ و همکاران، با استفاده از روش تصویربرداری ابرطیفی^۴ و تلفیق آن با فناوری‌های یادگیری ماشین کیفیت میوه‌های توت فرنگی را طی دوره نگهداری بررسی و گزارش کردند که با استفاده از تصویربرداری با طول موج‌های ۵۳۰

^۱ Big Data

^۲ Machine Vision

^۳ Gao

^۴ Hyper-Spectral Imaging

و ۶۰۴ نانومتر می‌توان با دقت ۹۵ درصد وضعیت ظاهری میوه را رصد کرد و کوچکترین تغییرات کیفی مبنی بر وقوع فساد در آنها را تشخیص داد.



شکل ۹ - بازوهای رباتیک در فراآوری مواد غذایی (رامیرز آسیس، ۲۰۲۰)

۵-۴- تلفیق هوش مصنوعی با بسته‌بندی هوشمند به منظور کاهش تلفات و دور-ریز

بسته‌بندی‌های هوشمند از روش‌های نوین بسته‌بندی هستند که طی آن با استفاده از حسگرهای هوشمند وضعیت مواد بسته‌بندی شده را به طور مداوم پایش می‌کنند (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). از جمله این حسگرها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- برچسب‌های حساس به تغییرات pH: با تغییر pH محصول به دلیل بروز فساد، این برچسب‌ها تغییر رنگ می‌دهند.
- شاخص‌های زمان-دما: این حسگرها تاریخچه دمایی محصول را پایش و ثبت می‌کنند و نشان می‌دهند که آیا محصول در محدوده دماهای ایمن نگهداری شده‌است یا نه.

- حسگرهای گاز: این حسگرها با تغییر در میزان گازهای درون بسته‌بندی مانند دی اکسید کربن یا اتیلن تغییر رنگ می‌دهند.
- حسگرهای میکروبی: با تشخیص حضور میکروب یا متابولیت‌های تولیدشده توسط میکروب، مصرف‌کننده را از فساد آگاه می‌کنند.



شکل ۱۰- انواع بسته‌بندی‌های هوشمند مواد غذایی (نسیچ^۱ و همکاران، ۲۰۲۰)

- برچسب‌های **RFID**: برچسب‌های هوشمند با قابلیت ارسال امواج رادیویی حاوی اطلاعاتی مانند شناسنامه محصول، تعداد محصول در انبارها، میزان تقاضای محصول در زمان‌های مختلف سال و تاریخ انقضای محصول که علاوه بر کمک به مدیریت موجودی، با پیشگیری از ثبت بیش از حد سفارش‌ها از دورریز محصول می‌کاهند. این حسگرها می‌توانند به طور مستقیم در مواد بسته‌بندی جاسازی شوند

^۱ Nešić

یا به شکل برجسب روی بسته‌بندی قرار گیرند و امکان پایش مداوم وضعیت محصول را فراهم آورند (لی^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

در حالت تلفیق این حسگرها با هوش مصنوعی، اطلاعات به صورت آنی برای سرورهای هوش مصنوعی فرستاده می‌شوند. با هر گونه تغییر در وضعیت داده‌های ارسال شده، هوش مصنوعی شروع به پردازش و یافتن دلیل بروز تغییر می‌کند. هوش مصنوعی می‌تواند بر حسب میزان تغییر ایجادشده در وضعیت محصول، تاریخ انقضای آن را بار دیگر محاسبه و به‌روز کند و در صورت لزوم آن را در فهرست خروج از انبار قرار دهد (ینگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۴؛ لی^۳ و همکاران، ۲۰۲۳).



شکل ۱۱ - اندیکاتور دمایی تعبیه شده در برجسب بسته‌بندی مواد غذایی (بولویگ و همکاران، ۲۰۲۱)

^۱ Li

^۲ Yang

۵-۵- هوش مصنوعی در فروشگاه‌ها و مراکز عرضه مواد غذایی

فروشگاه‌های مواد غذایی و سوپرمارکت‌ها می‌توانند به طور فزاینده‌ای از هوش مصنوعی برای مدیریت موجودی محصولات استفاده کنند. هوش مصنوعی روند فروش را در طولانی مدت پایش و تقاضای آینده را پیش‌بینی می‌کند. برای مثال، فروشگاه‌های والمارت با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی میزان تقاضای مشتریان در ماه‌های مختلف سال را تعیین و بر اساس آن اجناس مورد نیاز برای قرار گرفتن در قفسه‌های فروشگاه را مشخص می‌کنند (کائو^۱، ۲۰۲۱).

از هوش مصنوعی می‌توان به منظور برقراری سیستم‌های قیمت‌گذاری پویا روی محصولات مختلف استفاده کرد. در فروشگاه‌های زیرمجموعه کراگر^۲ با استفاده از این روش قیمت محصولات به صورت آنی و بر اساس آیتم‌هایی مانند عمر باقیمانده از انقضای محصول، میزان تقاضای محصول و قیمت رقبا تعیین می‌شوند. در این حالت، هر قدر تاریخ انقضای محصول نزدیک‌تر باشد، هوش مصنوعی با در نظر گرفتن میزان تقاضای محصول، قیمت آن را کاهش می‌دهد تا احتمال فروش محصول بالاتر رود و از دورریز آن جلوگیری شود (نوزاوا^۳ و همکاران، ۲۰۲۲).

یکی از شرکت‌های پیشرو در زمینه استفاده از هوش مصنوعی برای کاهش دورریز مواد غذایی، شرکت وین‌نو^۴ است. تمرکز عمده این شرکت بر کاهش دورریز مواد غذایی در رستوران‌ها، بیرون‌برها و هتل‌هاست. این شرکت معتقد است تنها چیزهایی را می‌توان مدیریت کرد که به طور دقیق اندازه‌گیری شوند. در واقع، تلفات و دورریز مواد غذایی نیز از

^۱ Cao

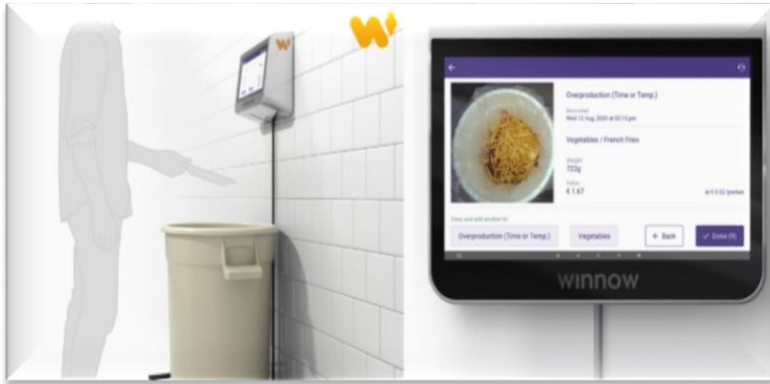
^۲ Kruger

^۳ Nozawa

^۴ Winnow

این قاعده مستثنی نیستند و تا زمانی که به طور دقیق اندازه گیری نشوند، قابل مدیریت و کنترل نخواهند بود.

بخش زیادی از دورریز مواد غذایی رستوران‌ها مربوط به مواد اولیه‌ای است که به عنوان ترکیبات پایه در فرمولاسیون مواد غذایی مختلف استفاده می‌شوند، مانند سیب زمینی یا پیاز سرخ‌شده، قارچ سوخاری، سبزی سرخ‌شده و غیره. بخش زیادی از این مواد در پایان روز بدون استفاده می‌مانند و دورریز می‌شوند اما آماری از میزان این دورریز وجود ندارد. در همین زمینه، شرکت وین‌نو سطل زباله‌ای با ویژگی‌های جدید طراحی کرده است که با استفاده از دوربین بسیار دقیق هر ماده غذایی دورریزی را شناسایی می‌کند که داخل آن ریخته می‌شود. کف سطل حالت ترازو دارد و وزن دقیق ماده غذایی را نیز مشخص می‌کند (شکل ۱۲). با در اختیار داشتن قیمت هر ماده غذایی و وزن آن، در انتهای روز میزان هزینه‌ای که به رستوران تحمیل می‌شود تعیین و به سرورهای هوش مصنوعی فرستاده خواهد شد. هوش مصنوعی با تحلیل میزان دورریز مواد اولیه در بازه‌های زمانی مختلف سال، پیشنهادهایی ارائه می‌کند مبنی بر اینکه چه میزان ماده اولیه در هر بازه معین از سال تهیه شود تا میزان دورریز در انتهای روز به حداقل برسد. این فناوری هم اکنون در ۸۵ کشور مختلف استفاده می‌شود و توانسته است از هدر رفتن حدود ۵۰ میلیون وعده غذایی (معادل ۷۰ میلیون دلار) جلوگیری کند (وین‌نو سولوشنز، ۲۰۲۴).



شکل ۱۲- سطل هوشمند با امکان محاسبه دقیق دورریز مواد غذایی (وین نو سولوشنز، ۲۰۲۴)

۵-۶. هوش مصنوعی در کاهش دورریز توسط مصرف کنندگان مواد غذایی

دورریز غذایی خانگی مشکلی جدی در سراسر جهان است که پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی قابل توجهی دارد. هوش مصنوعی با ارائه راهکارهای نوین، پتانسیل بالایی برای کاهش این معضل دارد. برخی از کاربردهای هوش مصنوعی در کاهش دورریز مواد غذایی در سطح خانوار در ادامه شرح داده شده است (بولویگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۱):

مدیریت هوشمند موجودی مواد غذایی شامل:

- **یخچال‌های هوشمند:** با استفاده از حسگرها و دوربین‌ها، محتویات خود را شناسایی و تاریخ انقضای مواد غذایی را ردیابی می‌کنند. یخچال‌های هوشمند می‌توانند با ارائه پیشنهاد های غذایی بر اساس مواد موجود و تاریخ انقضای آن‌ها، از فاسدشدن مواد غذایی جلوگیری کنند (شکل ۱۳).

^۱ Bolwig

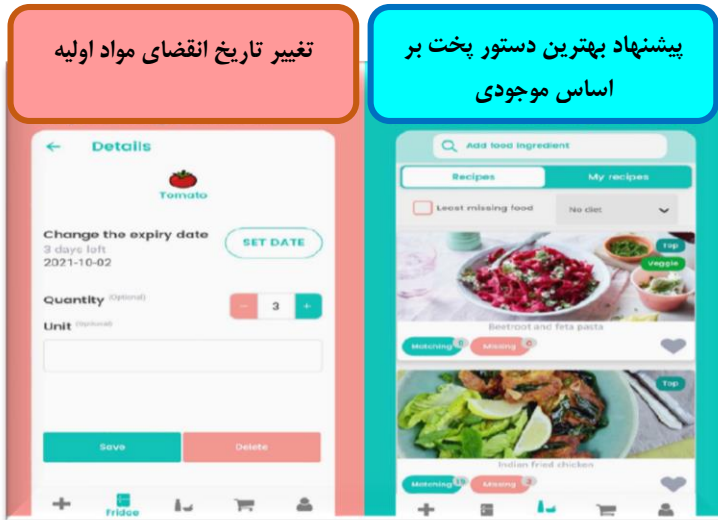


شکل ۱۳- یخچال و اپلیکیشن هوشمند با قابلیت کاهش دورریز مواد غذایی (بولویگ و همکاران، ۲۰۲۱)

اپلیکیشن‌های تلفن همراه: این اپلیکیشن‌ها به کاربران کمک می‌کنند تا موجودی مواد غذایی خود را ثبت و تاریخ انقضای آن‌ها را مدیریت کنند. اپلیکیشن‌های تلفن همراه می‌توانند با ارائه راهکارهای غذایی و هشدارهای مربوط به تاریخ انقضا، به کاهش دورریز غذایی کمک کنند (شکل ۱۴).

پیش‌بینی تقاضا و خرید هوشمند:

- **تجزیه و تحلیل داده‌ها:** با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، می‌توان الگوهای خرید و مصرف خانوارها را تجزیه و تحلیل و تقاضای آن‌ها را برای مواد غذایی مختلف پیش‌بینی کرد. این موضوع می‌تواند به جلوگیری از خرید بیش از حد و در نتیجه کاهش دورریز غذایی کمک کند.
- **پیشنهاد‌های خرید هوشمند:** اپلیکیشن‌های خرید آنلاین می‌توانند با استفاده از هوش مصنوعی، پیشنهاد‌های خرید شخصی‌سازی شده‌ای را به کاربران ارائه دهند که بر اساس نیازها و الگوهای مصرف آن‌ها باشد و در نتیجه از خریدهای غیرضروری جلوگیری شود و به کاهش دورریز غذایی کمک کند.



شکل ۱۴- اپلیکیشن های تلفن همراه با قابلیت طراحی دستورالعمل های غذایی هوشمند (بولویگ و همکاران، ۲۰۲۱)

بهینه سازی پخت مواد غذایی:

- دستورالعمل های غذایی هوشمند: با استفاده از هوش مصنوعی، می توان راهکارهای غذایی را بر اساس مواد موجود، تعداد افراد و ترجیحات غذایی آنها بهینه سازی کرد.
- فرآیندهای پخت هوشمند: برخی از لوازم خانگی هوشمند، مانند فرها و پلوپزها، از هوش مصنوعی برای بهینه سازی فرآیند پخت مواد غذایی استفاده و با جلوگیری از سوختن یا خام ماندن غذا به کاهش دورریز غذایی کمک می کنند.

آموزش و اطلاع رسانی:

- ارائه اطلاعات در مورد نگهداری مواد غذایی: با استفاده از هوش مصنوعی می توان اطلاعات مربوط به نحوه صحیح نگهداری مواد غذایی مختلف را به کاربران ارائه داد و با افزایش ماندگاری مواد غذایی به کاهش دورریز آنها کمک کرد.
- آگاهی بخشی در مورد دورریز غذایی: با استفاده از رسانه های اجتماعی و سایر ابزارهای ارتباطی می توان با استفاده از هوش مصنوعی آگاهی عمومی را در مورد پیامدهای دورریز غذایی افزایش داد و رفتارهای مسئولانه تر را ترویج کرد (بولویگ و همکاران، ۲۰۲۱).

۵-۷- هوش مصنوعی در بازیافت تلفات و دورریز مواد غذایی

فناوری‌های نوظهور مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در زمینه های مختلفی مانند جمع‌آوری و تفکیک تلفات و دورریز، بازیافت و تبدیل آنها به محصولات با ارزش افزوده مانند کود، بیوگاز و سوخت‌های زیستی کاربرد دارند. ترکیب رویکردهای اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی می‌تواند نظارت و مدیریت فرآیندهای زیستی را برای تولید محصولات با ارزش افزوده از دورریز افزایش دهد و به بهبود پایداری محیطی و امنیت غذایی کمک کند. به طور کلی، استراتژی جامع به‌کارگیری تکنیک‌های هوشمند با حمایت دولت می‌تواند دورریز را به حداقل برساند و نقش آن را در اقتصاد چرخشی به سمت آینده‌ای پایدارتر به حداکثر برساند (سید و همکاران، ۲۰۲۳).

۶- چالش‌های آینده توسعه هوش مصنوعی در جهان و ایران

مهم‌ترین عامل در برقراری سیستم‌های هوش مصنوعی، دسترسی مداوم به داده‌های با کیفیت است هرچند دسترسی به این قبیل داده‌ها، به ویژه در کشورهای در حال توسعه با زیرساخت‌های سنتی، اغلب چالش‌برانگیز است. برای مثال، برای پایش لحظه‌ای شرایط محصولات غذایی، دسترسی مداوم به داده‌های دما، رطوبت و شرایط تهویه محصولات در تمام مراحل پس از برداشت ضروری است هرچند این داده‌ها اغلب به صورت دقیق و مداوم اندازه‌گیری نمی‌شوند.

در کشورهای در حال توسعه و ایران، مهم‌ترین چالش در کنترل تلفات و دورریز مواد غذایی دسترسی‌ناداشتن به زیرساخت‌های مناسب است. در زمینه کاربرد هوش مصنوعی نیز نبود زیرساخت‌های مناسب یکی از مهم‌ترین مشکلات است، به طوری که اغلب سیستم‌های انبارداری و حمل و نقل محصولات فاقد حسگرهای محیطی و ابزارهای دقیق اندازه‌گیری هستند. کارایی و دقت همین ابزارهای اندازه‌گیری نیز باید به طور پیوسته بررسی و صحت-سنجی شود. به طور کلی، در نبود زیرساخت‌های مناسب و ابزارهای دقیق اندازه‌گیری، استفاده از فناوری‌های وابسته به هوش مصنوعی تقریباً ناممکن است. جمع‌آوری و استفاده

از داده‌های مربوط به الگوهای مصرف خانوارها، نگرانی‌هایی را در مورد حریم خصوصی ایجاد می‌کند. پیاده‌سازی راهکارهای مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند پرهزینه باشد و دسترسی به آنها برای همه خانوارها ممکن نباشد.

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در سال‌های اخیر، با توجه به اهمیت یافتن موضوع‌های مرتبط با سلامت محصولات غذایی، بسیاری از کارخانه‌های صنایع غذایی به استفاده از ابزارهای دقیق اندازه‌گیری شرایط نگهداری محصول در زمان نگهداری و حمل و نقل روی آورده‌اند. هرچند کنترل این سیستم‌ها به صورت غیرفعال است و اغلب زمانی که محصول نهایی با مشکل مواجه می‌شود، برای یافتن دلیل بروز مشکل، یکی از نقاطی که پایش می‌شود سیستم‌های کنترلی هستند. پایش مداوم این سیستم‌ها نیازمند تعداد زیاد نیروی انسانی است. با این حال، وجود این زیرساخت‌ها نوید بخش وجود فرصت برقراری هوش مصنوعی در این بخش از مراحل پس از برداشت محصول است.

تلفات و دورریز مواد غذایی را زمانی می‌توان کنترل و مدیریت کرد که به طور دقیق اندازه‌گیری شوند. در حال حاضر طرح کلان ضایعات محصولات کشاورزی توسط موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی در حال اجراست که در یکی از محورهای آن سنجش و پایش محصولات اساسی دارای تلفات و دورریز زیاد دیده شده است. خروجی این طرح‌ها می‌تواند پیش‌زمینه اجرای تحقیقات کاربردی هوش مصنوعی باشد.

ایجاد زیرساخت‌های مناسب برای توسعه هوش مصنوعی و کاهش تلفات و دورریز محصولات کشاورزی در کشور مانند حسگرهای محیطی و ابزارهای دقیق اندازه‌گیری در سیستم‌های انبارداری و حمل و نقل و بررسی مداوم کارایی و دقت و صحت ابزارهای اندازه‌گیری یکی دیگر از موضوع‌های مورد توجه برای توسعه هوش مصنوعی در کشور است. ایجاد بستر مناسب برای توسعه کاربرد هوش مصنوعی و کاهش تلفات و دورریز مواد غذایی از طریق اجرای پروژه‌های کاربردی در مقیاس آزمایشگاهی و سپس نیمه صنعتی و

صنعتی نیز ضروری به نظر می‌رسد. پیاده‌سازی سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند پرهزینه باشد و عملکرد الگوریتم‌های هوش مصنوعی به داده‌های با کیفیت بستگی دارد، همچنین پیاده‌سازی و نگهداری سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی نیاز به تخصص دارد. پیشرفت سریع و گسترده فناوری‌های مختلف و مرتبط با هوش مصنوعی، نیازمند زیرساخت‌های هوشمند ارتباطات در کشور است. فعالان این حوزه عقیده دارند با وجود بالابودن سرعت نفوذ هوش مصنوعی در دنیا و تلاش کشورها برای استفاده از این فناوری در بخش‌های مختلف، کشور ما در استفاده کاربردی و توسعه این تکنولوژی هنوز فاصله زیادی با دیگر کشورهای دنیا دارد. هوش مصنوعی در آینده‌ای نه چندان دور به زیرساختی اساسی و تأثیرگذار تبدیل می‌شود که بهره‌گیری از آن ضرورت خواهد بود (حق بیان، ۱۴۰۳). هوش مصنوعی با ارائه راهکارهای نوین، پتانسیل بالایی برای کاهش تلفات و دورریز مواد غذایی پس از برداشت دارد. با غلبه بر چالش‌ها و ملاحظات موجود، می‌توان از این فناوری برای ایجاد سیستم غذایی پایدارتر و کارآمدتر بهره برد. بدیهی است موفقیت این راهکارها به حمایت مالی، پذیرش و استفاده از آنها توسط عموم مردم بستگی دارد.

۸- منابع

حق بیان، ۱۴۰۳. آیا زیرساخت‌های صنعت غذای ایران برای پذیرش هوش مصنوعی فراهم است؟ اقتصاد سبز آنلاین. اول مرداد ۱۴۰۳. قابل دستیابی در:

<https://eghtesadsabzonline.ir>

شواخی و رواقی، ۱۴۰۰. گزارش شرکت در دوره مجازی تنظیم مقررات و حمل و نقل مدرن مواد غذایی-فیلیپین. سازمان ملی بهره‌وری ایران. ۲۲-۲۴ تیرماه ۱۴۰۰.

Abouelsaad, I. A., Teiba, I. I., El-Bilawy, E. H., & El-Sharkawy, I. (2022). Artificial Intelligence and Reducing Food Waste during Harvest and Post-Harvest Processes. In *IoT-Based Smart Waste Management for Environmental Sustainability* (pp. 63-82). CRC Press.

- Aktas, E., Sahin, H., Topaloglu, Z., Oledinma, A., Huda, A. K. S., Irani, Z. & Kamrava, M. (2018). A consumer behavioural approach to food waste. *Journal of Enterprise Information Management*, 31(5), 658-673.
- Aschemann-Witzel, J., De Hooge, I., Amani, P., Bech-Larsen, T., & Oostindjer, M. (2015). Consumer-related food waste: Causes and potential for action. *Sustainability*, 7(6), 6457-6477.
- Bolwig, S., Tanner, A. N., Riemann, P., Redlingshöfer, B., & Zhang, Y. (2021). Reducing consumer food waste using green and digital technologies. *UNEP DTU Partnership*.
- Cao, L. (2021). Artificial intelligence in retail: applications and value creation logics. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 49(7), 958-976.
- Choi, J. Y., Seo, K., Cho, J. S., & Moon, K. D. (2021). Applying convolutional neural networks to assess the external quality of strawberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 102, 104071.
- Debauche, O., Nkamla Penka, J. B., Hani, M., Guttadauria, A., Ait Abdelouahid, R., Gasmi, K., & Bertozzi, C. (2023). Towards a unified architecture powering scalable learning models with IoT data streams, blockchain, and open data. *Information*, 14(6), 345.
- De Moraes, C. C., de Oliveira Costa, F. H., Pereira, C. R., Da Silva, A. L., & Delai, I. (2020). Retail food waste: mapping causes and reduction practices. *Journal of Cleaner Production*, 256, 120124.
- Dora, M., Wesana, J., Gellynck, X., Seth, N., Dey, B., & De Steur, H. (2020). Importance of sustainable operations in food loss: evidence from the Belgian food processing industry. *Annals of operations research*, 290, 47-72.
- Falsafi, S. R., Karaca, A. C., Tarhan, O., Colussi, R., Hakgüder-Taze, B., Kumar, Y., & Rostamabadi, H. (2024). Fundamentals of freezing processes. In *Low-Temperature Processing of Food Products* (pp. 25-52). Woodhead Publishing.

- FAO. (2019). The state of food and agriculture: Moving forward on food loss and waste reduction. The State of the World.
- Gao, Z., Shao, Y., Xuan, G., Wang, Y., Liu, Y., & Han, X. (2020). Real-time hyperspectral imaging for the in-field estimation of strawberry ripeness with deep learning. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 31-38.
- Hoang, H. M., Akerma, M., Mellouli, N., Le Montagner, A., Leducq, D., & Delahaye, A. (2021). Development of deep learning artificial neural networks models to predict temperature and power demand variation for demand response application in cold storage. *International Journal of Refrigeration*, 131, 857-873.
- Li, X., Liu, D., Pu, Y., & Zhong, Y. (2023). Recent advance of intelligent packaging aided by artificial intelligence for monitoring food freshness. *Foods*, 12(15), 2976.
- Ndraha, N., Vlajic, J., Chang, C. C., & Hsiao, H. I. (2020). Challenges with food waste management in the food cold chains. In *Food industry wastes* (pp. 467-483). Academic Press.
- Nešić, A., Cabrera-Barjas, G., Dimitrijević-Branković, S., Davidović, S., Radovanović, N., & Delattre, C. (2019). Prospect of polysaccharide-based materials as advanced food packaging. *Molecules*, 25(1), 135.
- Nozawa, C., Togawa, T., Velasco, C., & Motoki, K. (2022). Consumer responses to the use of artificial intelligence in luxury and non-luxury restaurants. *Food Quality and Preference*, 96, 104436.
- Qiu, W. (2024, February). Design of Cold Chain Storage and Transportation Monitoring System for Fresh Agricultural Products Based on Artificial Intelligence. In *2024 IEEE 3rd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms (EEBDA)* (pp. 1402-1406). IEEE.
- Ramirez-Asis, E., Vilchez-Carcamo, J., Thakar, C. M., Phasinam, K., Kassanuk, T., & Naved, M. (2022). A review on role of artificial intelligence in food processing and manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 51, 2462-2465.

- Said, Z., Sharma, P., Nhuong, Q. T. B., Bora, B. J., Lichtfouse, E., Khalid, H. M., ... & Hoang, A. T. (2023). Intelligent approaches for sustainable management and valorisation of food waste. *Bioresource Technology*, 377, 128952.
- Said, Z., Sharma, P., Nhuong, Q. T. B., Bora, B. J., Lichtfouse, E., Khalid, H. M., & Hoang, A. T. (2023). Intelligent approaches for sustainable management and valorisation of food waste. *Bioresource Technology*, 377, 128952.
- Schanes, K., Dobernig, K., & Gözet, B. (2018). Food waste matters-A systematic review of household food waste practices and their policy implications. *Journal of cleaner production*, 182, 978-991.
- Shavakhi, F., Rahmani, A., & Piravi-Vanak, Z. (2023). A global systematic review and meta-analysis on prevalence of the aflatoxin B1 contamination in olive oil. *Journal of Food Science and Technology*, 60(4), 1255-1264.
- Walmart. (2024). Storage facilities, Retrieved from: <https://www.walmart.com/c/kp/cold-storage>. December 2024
- Winnowsolutions. (2024). Why are we the company to meet the food waste challenge?, Retrieved from: <https://www.winnowsolutions.com/company>. December 2024
- Xu, F., Li, Y., Ge, X., Yang, L., & Li, Y. (2018). Anaerobic digestion of food waste—Challenges and opportunities. *Bioresource technology*, 247, 1047-1058.
- Xu, S., & Falsafi, S. R. (2024). Juiciness of meat, meat products, and meat analogues: definition, evaluation methods, and influencing factors. *Food Reviews International*, 40(8), 2344-2377.
- Yang, Y., Du, Y., Gupta, V. K., Ahmad, F., Amiri, H., Pan, J., & Rajaei, A. (2024). Exploring blockchain and artificial intelligence in intelligent packaging to combat food fraud: A comprehensive review. *Food Packaging and Shelf Life*, 43, 101287.

Zhang, C., & Lu, Y. (2021). Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. *Journal of Industrial Information Integration*, 23, 100224.